Postverlagsort Wien

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

UNTER MITWIRKUNG VON

A. BUTENANDT, BERLIN-DAHLEM · P. DEBYE, BERLIN-DAHLEM · E. K. DRESCHER-KADEN, STRASSBURG i. ELS. · H. v. FICKER, WIEN · R. GRAMMEL, STUTTGART
O. HAHN, BERLIN-DAHLEM · M. HARTMANN, BERLIN-DAHLEM · F. KÖGL, UTRECHT · A. KÜHN, BERLIN-DAHLEM · M. v. LAUE, BERLIN · E. v. d. PAHLEN, POTSDAM
F. SAUERBRUCH, BERLIN · H. STILLE, BERLIN · F. v. WETTSTEIN, BERLIN-DAHLEM

HERAUSGEGEBEN VON

FRITZ SÜFFERT

ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE
UND
ORGAN DER KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

SPRINGER-VERLAG IN BERLIN

HEFT 44/52 (SEITE 309—378) NOVEMBER/DEZEMBER 1944 32. JAHRGANG

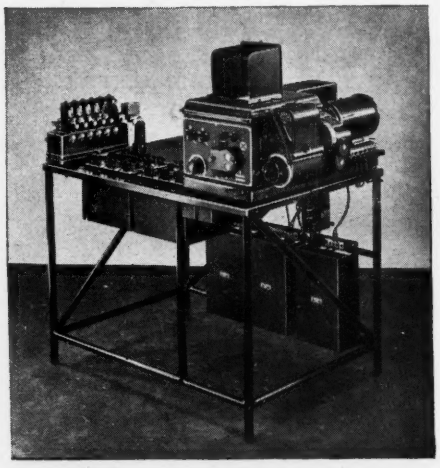
INHALT:

Quantenphysik und Biologie. Von P. JORDAN 309
Über die Indeterminiertheit und die Verstärkererscheinungen in der Biologie. Von F. MÖGLICH, R. ROMPE und N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY 316
Die Chemie der orientierten Verwachsung von Kristallen organischer Verbindungen. Von J. WILLEMS. (Mit 7 Figuren) 324
Zur Theorie der Anlauffarben auf Metallen. Von G. MASING. (Mit 4 Figuren) 333
Kettenleiter. Von G. ZICKNER. (Mit 20 Figuren) 337
Erbleiden beim Tier in ihrer Bedeutung für die menschliche Erbpathologie. Von HANS NACHTSHEIM. (Mit 14 Figuren) 348

Fortsetzung des Inhaltsverzeichnisses siehe II. Umschlagseite!

SIEMENS
MESSTECHNIK

Schleifen-Oszillographen



zur **Sichtbarmachung** und kurvenmässigen **Aufzeichnung** schnellveränderlicher Vorgänge verschiedenster Art.
Registriergeschwindigkeiten bis 50 m/s.

Oszillographen für alle Anwendungsgebiete, vom einfachsten Betriebsgerät bis zum hochentwickelten Gerät für wissenschaftliche Forschung

Ms 6. 02/2a
SIEMENS & HALSKE AG.

Naturwiss.

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen bis auf weiteres in Doppelheften und können im In- und Auslande durch jede Sortimentsbuchhandlung oder jede Postanstalt bezogen werden. Preis vierteljährlich RM 9.60. Hierzu treten bei direkter Zustellung unter Kreuzband die Versandspesen bzw. beim Bezuge durch die Post die postalische Bestellgebühr. Die Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, Studierende, ferner Ärzte in nicht vollbezahlter Stellung erhalten die Zeitschrift im Abonnement mit einem Nachlaß von 20%.

Manuskripte, Bücher usw. an

Die Naturwissenschaften, Berlin W 9, Linkstraße 22/24 erbeten.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung (entsprechend § 42 des Verlagsgesetzes) der in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihre Verwendung in fremdsprachlichen Ausgaben vor.

Wegen Anzeigen wolle man sich wenden an den *Springer-Verlag*, Berlin W 9.

Anzeigenpreis: 1/1 Seite RM 250.—, z. Z. zulässiges Höchstformat 1/4 Seite.

Preis der Titelseite (1/2 Seite) RM 156.25.

Springer-Verlag OHG., Berlin W 9, Linkstr. 22/24

Fernsprecher: 21 81 11

Fortsetzung des Inhaltsverzeichnisses:

Die Beziehungen der Rickettsien zu Bakterien und Viren. Von F. Weyer, H. Friedrich-Freksa und G. Bergold. (Mit 5 Figuren)... 361

Bisher unbekannte Formen des Elmsfeuers. Von Maximilian A. Toepler. (Mit 3 Figuren).... 365

Die Probleme des Geschlechts. Von K. Henke. 368

Hermann Wattenberg zum Gedächtnis. Von A. Defant. (Mit 1 Bildnis)..... 370

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN:

Hämiglobin und Pasteur-Effekt. Von Manfred Kiese 372

Regeln über die Lage von Isotopenaustauschgleichgewichten. Von H. Suess und H. Jensen 372

Zur Deutung der Häufigkeitsverteilung der Elemente. Von H. Jensen und H. Suess. (Mit 2 Figuren) 374

Mechanismus der Wirkung ionisierender Strahlen auf Lösungen. Von K. G. Zimmer 375

Endomitotische Polyploidisierung in Früchten. Von L. Geitler und Henriette Lauber ... 376

Über die Ursachen der rechtwinkeligen Durchschneidung von Scheidewänden. Von L. Geitler und Elisabeth Vogl 377

Zur Chemie des Buchenholzes. Von Olav Müller 377

Jod-Kalikloca

Stack-Jod-Kalikloca

Zahnpasten mit 0,0075 % bzw. 0,75 % Jodgehalt / Jodresorption 0,000035 g bzw. 0,003 g

Schonendste Darreichung und protrahierte Wirkung kleinster Joddosen durch intraoral-permucöse Jod-Resorption bei der regelmäßigen Mundpflege

QUEISSER & CO., K. G.

Wissenschaftl. Abt.: Hamburg 13, Innocentiastr. 49
(Dr. Müller-Stade)

JENAer GLAS

Claisenkolben

nach einheitlichen Gesichtspunkten neu durchkonstruiert:

Beschränkung der Substanzverluste — Kurze Dampfwege — Schonung der Gummistopfen — Lange Hälse — Größere Leistung im Hochvakuum — Weite Kondensationsrohre — Arbeitserleichterung durch passende Kühler, Thermometer, Siedekapillaren — Neue Formen für Normalschliffe — Sonderformen für rasch erstarrende Destillate

Unsere Druckschrift 6800 ist grundlegend für die richtige Verwendung von Claisenkolben

JENAer GLASWERK SCHOTT & GEN., JENA

Bezug durch den Fachhandel

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

32. Jahrgang | November/Dezember 1944 | Heft 44/52

Quantenphysik und Biologie.[1])

Von P. JORDAN.

Die Physiker pflegen ihre Wissenschaft zu unterteilen in die mit dem Verhalten einzelner Elektronen, Atome, Quanten befaßte *Mikrophysik* einerseits und die Makrophysik andererseits, welche von Körpern und von Vorgängen handelt, in denen jeweils *große Mengen* gleichartiger Atome vorhanden sind und unter gleichartigen Bedingungen reagieren. Diese Unterscheidung gründet sich aber nicht nur darauf, daß die Gegenstände der Makrophysik *räumlich größer* sind, als die der Mikrophysik, sondern es tritt uns in der Mikrophysik ein gegenüber der Makrophysik ganz neuer Typus von *Naturgesetzlichkeit* entgegen. Dieser fremdartige Charakter der Mikrophysik hängt damit zusammen, daß wir es bei den „Elementarteilchen" der Mikrophysik mit *letzten* Feinheiten der physikalischen Naturvorgänge zu tun haben, über welche hinaus keine weitere Verfeinerung und Unterteilung mehr möglich ist. Würden wir uns etwa das Elektron irgendwie als eine verkleinerte Ausgabe eines makroskopischen Körpers denken, so wäre die weitere Frage nach seinen noch kleineren Bestandteilen unausweichlich. Nur dadurch, daß sich die Gebilde der Mikrophysik der Anwendbarkeit makrophysikalischer Vorstellungen grundsätzlich entziehen, können sie die Rolle von etwas „Letztem" spielen.

Als kennzeichnendes Beispiel makrophysikalischer Gesetzlichkeit kann angeführt werden das NEWTONsche Gesetz, wonach ein Massenpunkt der Masse m unter der Einwirkung einer Kraft $\mathfrak{K}$ eine Beschleunigung

$$\ddot{\mathfrak{r}} = \frac{\mathfrak{K}}{m} \qquad (1)$$

erfährt. In der Bildung der zeitlichen *Ableitung* $\ddot{\mathfrak{r}}$ kommt — als stillschweigende, fast selbstverständliche Voraussetzung — die *Stetigkeit* alles makrophysikalischen Geschehens zum Ausdruck: „Natura non facit saltus". Ferner gibt es hier einen eindeutigen Ursach-Wirkungs-Zusammenhang: die Kraft ist Ursache einer eindeutig bestimmten Wirkung, nämlich einer Beschleunigung. Die *Kausalitäts*-Vorstellung erfährt damit ihre schärfste Präzisierung.

Als kennzeichnendes Beispiel mikrophysikalischer Gesetzlichkeit hingegen kann das Gesetz des *radioaktiven Zerfalls* angesehen werden: Die Anzahl $N(t)$ der Atome in einem makroskopischen Haufen radioaktiver Substanz ist als Funktion der Zeit t gegeben durch

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda t}. \qquad (2)$$

Hier ist nicht mehr von einem *stetigen* Geschehen die Rede, sondern von einer am einzelnen Atom *sprunghaft* eintretenden Umwandlung. Diese *Unstetigkeit* entspricht der Tatsache, daß nicht nur ein Elementarteilchen selbst, sondern auch das an ihm sich abspielende Geschehen etwas Letztes, nicht mehr Unterteilbares ist. Für die unstetige Umwandlung wird aber nicht eine ursächliche Festlegung der Einzelreaktion angegeben, sondern nur eine das *Durchschnittsverhalten* festlegende, also eine *statistische* Naturgesetzlichkeit. Diese tritt freilich in bezug auf Exaktheit und Einfachheit keineswegs zurück gegenüber dem NEWTONschen Gesetz (1): noch deutlicher wird diese Einfachheit, wenn wir (2) ersetzen durch die gleichwertige Aussage, daß ein zur Zeit t vorhandenes Atom der fraglichen Art mit einer Wahrscheinlichkeit $\lambda\, d\, t$ innerhalb des Zeitraumes $t,\ t + d\, t$ zerfallen wird. Bei dieser Ausdrucksweise sprechen wir jetzt übrigens scheinbar von einem *einzelnen* Atom; jedoch bedeutet ja der dabei notwendige Begriff der *Wahrscheinlichkeit*, daß unsere Aussage tatsächlich erst durch Anwendung auf *viele gleichartige* Atome Sinn und Inhalt gewinnt.

Die „Quantenmechanik" oder „Wellenmechanik" erhebt den Anspruch, die Gesetze der Mikrophysik, wie sie im ganzen ausgedehnten Gebiet der *Physik der Elektronenhüllen* herrschen, ebenso exakt, zuverlässig und endgültig erfaßt zu haben, wie die NEWTONsche Mechanik die Gesetzmäßigkeiten ihres Zuständigkeitsbereiches erfaßte. Die in der Quantenmechanik zusammengefaßten mikrophysikalischen Naturgesetze sind aber durchgehends statistischer Art, wie das des radioaktiven Zerfalls.

Es ist allerdings vielfach, und auch von einigen hervorragenden Physikern, die Ansicht ausgedrückt worden, daß der hiermit vollzogene *Verzicht* auf eindeutige *kausale Vorherbestimmung* der Zukunft nur als ein *vorläufiger* Verzicht zu bewerten sei, und daß eine spätere Fortentwicklung unserer Erkenntnis zu einer Wiederherstellung eines von strenger Kausalität beherrschten Bildes der physikalischen Naturerscheinungen führen werde. Dabei sollten dann zwar alle *positiven* Aussagen der Quantenmechanik — also alle ihre statistischen Gesetze — als richtig und bleibend anerkannt, aber ihre *negativen* Aussagen — nach denen es keine weiteren, zusätzlichen Gesetze mehr geben kann — gestrichen werden. Jedoch muß gesagt werden, daß im Gedankengebäude der Quantenmechanik die „positiven" und „negativen" Aussagen so eng miteinander verwoben sind, daß es unmög-

[1]) Vortrag, Reichsuniversität Straßburg, 14. Juli 1943.

lich ist, die letzteren für ungewiß zu halten, ohne auch an den ersteren zu zweifeln.

Betrachten wir beispielsweise ein Atomgas — etwa Na-Dampf — und lassen wir monochromatisches Licht von der Wellenlänge der Natrium-D-Linie auf diese Atome fallen. Es ergibt sich dann eine Reaktion, welche — mit einem in der Biologie gebräuchlichen Ausdruck beschrieben — einem *„Alles-oder-Nichts-Gesetz"* gehorcht: dieser Ausdruck bezeichnet genau das, was der Physiker eine *„Unstetigkeit"* zu nennen pflegt. Jedes einzelne Atom absorbiert aus der Lichtenergie *entweder* gar nichts, *oder* aber den vollen, unteilbaren Energiebetrag eines *Lichtquants hν*. Die *Intensität* des auffallenden Lichtes bedingt gesetzmäßig nicht etwa eine schwächere oder stärkere Absorption der einzelnen Atome, sondern eine kleinere oder größere *statistische Häufigkeit* der Absorptionen.

Man könnte nun versucht sein, eine streng kausale Determinierung der Absorptionsvorgänge hypothetisch zu vermuten, indem man die Atome mit kleinen Schießscheiben vergleicht, die von Gewehrkugeln jeweils entweder getroffen oder nicht getroffen werden: Man könnte sagen, es kommt eben darauf an, *ob das einzelne Atom von einem Lichtquant getroffen wird.* Darüber aber, daß dies wirklich völlig falsch wäre, kann es in der Tat *keine* Meinungsverschiedenheit geben. Denn beim Treffen oder Nichttreffen der Gewehrkugel auf die Scheibe ist es wesentlich, daß die Gewehrkugel ein begrenzter, in jedem Augenblick an einem bestimmten Ort befindlicher Körper ist. Das Lichtquant dagegen ist ein Gebilde, welches angesichts der in unserem Experiment vorausgesetzten Monochromasie des Lichtes ein räumliches Gebiet beansprucht, dessen Dimensionen groß gegenüber der Wellenlänge — also riesenhaft gegenüber einem Atomdurchmesser — sind; ein solches Gebilde kann zahllose Atome überstreichen, *ohne* absorbiert zu werden.

Für den heutigen Vortrag also soll die der Quantenmechanik zugrunde liegende Auffassung maßgebend sein, daß die Beschränkung auf statistische Gesetze, unter Verzicht auf eine kausale Vorherbestimmung der Einzelreaktion, nicht eine vorläufige, später zu überwindende Unvollständigkeit unserer Erkenntnis ausdrückt, sondern im Gegenteil eine gegenüber der Makrophyik *vertiefte Einsicht* in die Geheimnisse der Natur.

Von dieser Auffassung aus liegt die Frage nahe, ob diese vertiefte Einsicht vielleicht auch — über die reine Physik hinaus — für die *Biologie* Bedeutung haben könnte: Wir wollen die Frage stellen, ob die Akausalität der mikrophysikalischen Einzelreaktionen zu einer wesentlichen Auswirkung in biologischen Großvorgängen gelangen kann; also, ob es vorkommt, daß ein biologischer Großvorgang ebensowenig vorherbestimmt ist wie ein mikrophysikalischer Elementarvorgang.

Die gestellte Frage berührt sich engstens mit Problemen, die über die Naturwissenschaft hinaus in philosophische Zusammenhänge führen. Aber mit der Fassung, die ich ihr soeben gegeben habe, möchte ich unterstreichen, daß es sich durchaus um eine rein naturwissenschaftliche Frage handelt, die als solche unabhängig ist von möglichen philosophischen Meinungsverschiedenheiten — eine Frage, der jedenfalls auch in keiner Weise irgend etwas „Mystisches" anhaftet. Es soll die Aufgabe dieses Vortrages sein, die gestellte Frage als solche zu beantworten — dagegen sollen die etwaigen philosophischen Folgerungen jetzt außer Betracht bleiben. —

Die Gesetze der Mikrophysik gelten für *jedes* physikalische Gebilde, insbesondere auch für jedes *makrophysikalische*. Bei der Betrachtung makrophysikalischer Gebilde — mit makrophysikalischen Genauigkeitsansprüchen — kommt es uns nur auf das durchschnittliche Verhalten vieler gleichartiger Atome unter gleichen Bedingungen an; und somit ergibt sich die makrophysikalische, lückenlose Kausalität als *Folgerung* aus der statistischen Akausalität der Mikrophysik.

Gehört nun das organische Leben ganz ins Gebiet der Makrophysik, so ist damit auch die lückenlose Vorausbestimmtheit seiner Reaktionen gesichert. Eine Indeterminiertheit biologischer Großvorgänge, bedingt durch mikrophysikalische Akausalität, ist nur dann möglich, wenn wir im Organischen mit Struktur- und Funktionsverhältnissen geradezu phantastischer Art rechnen dürfen: wenn wir als möglich annehmen dürfen, daß eine biologische Reaktion *gesteuert* wird durch *einen einzigen* quantenphysikalischen Elementarvorgang. Die Strukturverhältnisse des organischen Lebens müßten also darauf angelegt sein, *Verstärker-Wirkungen* zu ermöglichen, durch welche ein einzelner mikrophysikalischer Quantensprung verstärkt werden kann zu einem ins Makrophysikalische reichenden biologischen Großvorgang.

Es ist zweifellos eine phantastische Möglichkeit, die wir hier in Erwägung ziehen; und man könnte geneigt sein, derartiges von vornherein für völlig ausgeschlossen zu halten — tatsächlich war die Kritik dazu geneigt, als auf diese Möglichkeit zum ersten Male hingewiesen wurde. Aber man wird doch vorsichtig urteilen müssen: es bedarf ja keiner Aufzählung von Beispielen dafür, daß wir es jedenfalls im Biologischen auf Schritt und Tritt mit ausgeprägtesten *Steuerungsbeziehungen* zu tun haben, in welchen gröbere, mit großen Umsätzen von Energie und Substanz verlaufende Reaktionen abhängig sind von feineren Reaktionen feinerer Strukturelemente. Man kann also nicht ohne sorgfältige Prüfung beurteilen, wie weit die Verfeinerung der letzten steuernden Strukturelemente und der letzten steuernden Reaktionen im organischen Leben getrieben sein mag — ob sie nicht vielleicht tatsächlich *bis an die Grenze des physikalisch Möglichen* geht, und ob nicht vielleicht gerade hierin

etwas zum *Wesen* des organischen Lebens Gehörendes liegt.

Daß das tatsächlich so ist, das ist zwar vor zehn Jahren noch lebhaft bestritten worden; aber heute darf es zu den bestgesicherten Grunderkenntnissen der Biologie gezählt werden.

Im folgenden soll nach drei Richtungen hin das vorliegende Beweismaterial kurz betrachtet werden. Wir sprechen 1. von der *Zelle;* 2. von der *Phylogenie;* 3. von den *Mehrzellern.*

1. *Zelle.* Wir kennen bei den Mehrzellern gewisse Zellarten, welche im Dienste einer hochspezialisierten Funktion eine degenerative Veränderung gegenüber dem grundsätzlichen Normalbild einer lebenden Zelle erfahren haben; beispielsweise die kernlosen Erythrozyten. Schließen wir solche Sonderfälle von der augenblicklichen Betrachtung aus, so dürfen wir das grundsätzliche Bild einer Zelle etwas schematisiert folgendermaßen beschreiben: Die Zelle hat ein *Steuerungszentrum,* den *Zellkern,* bestehend aus einer Anzahl von *Genen,* deren jedes nur einmal oder zweimal vorhanden ist. Jedes Gen bleibt im allgemeinen *unveränderlich;* auch über wiederholte Zellteilungen hinaus, denen jeweils eine Verdopplung jedes Gens vorangeht. Eine Zustandsänderung eines Gens — die als selteneres Ereignis gelegentlich vorkommt — geschieht stets sprunghaft, *unstetig.* Wir wollen eine solche Zustandsänderung in Anlehnung an die Genetik ganz allgemein als eine *Mutation* bezeichnen (genauer *Gen-Mutation*).

Die grundlegende Erkenntnis, von der wir zu sprechen haben, läßt sich nun kurz dahin zusammenfassen, daß ein einzelnes *Gen* ein einzelnes *Molekül,* und eine einzelne *Mutation* ein einzelner *Quantensprung* ist. Mit dieser Erkenntnis — auf die experimentellen Beweise gehen wir noch ein — ist eben dasjenige festgestellt, was wir behauptet haben: *die mikrophysikalische Steuerungsfeinheit in der Zelle.* Tritt an einem Gen-Molekül ein Quantensprung ein, so ist hernach das Steuerungszentrum der Zelle einschneidend verändert, derart, daß *makrophysikalische Auswirkungen* daraus entstehen: Beispielsweise kann die Zelle durch einen solchen Quantensprung lebensunfähig werden und absterben; oder es kann, wenn es sich vielleicht gerade um eine *Keimzelle* handelt, der aus ihr erwachsende vielzellige Organismus sich erheblich von demjenigen unterscheiden, welcher *ohne* das Eintreten dieser Mutation entstanden wäre. Der Quantensprung selber aber unterliegt als mikrophysikalisches Elementarereignis keiner kausalen Determinierung, so daß die makrophysikalischen Wirkungen, die durch ihn ausgelöst wurden, in ihrer kausalen Zurückverfolgung auf ein indeterminiertes Einzelereignis als letzte Wurzel führen. Natürlich gehört — dies sei ausdrücklich betont — von vornherein zum Begriff einer „Steuerung", daß das gesteuerte Gebilde seinerseits in zuverlässiger Weise kausal reagiert, und *nicht* etwa noch weitere Einbruchsstellen indeterminierter Ereignisse besitzt[2]).

Das Beweismaterial der ausgesprochenen These über die Natur der Gene und ihrer Mutationen ist so umfangreich, daß einige Andeutungen hier genügen müssen. Wir kennen viele Fälle von *Zelltötungen,* die *unstetig,* nach einem *Alles-oder-Nichts-Gesetz* verlaufen: Solche Tötungen (beispielsweise von Bakterien) sind durchgeführt mit verschiedenen Strahlungen (Ultraviolett, Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlängen, Alphastrahlen, Betastrahlen), mit Hitze, Kälte, Ultraschall und mit gewissen Giften, z. B. Phenol und Quecksilberchlorid. Es handelt sich also jeweils um einen Vorgang, der sich ganz grundsätzlich vom Bilde der Tötung eines großen Mehrzellers unterscheidet: Wir beobachten hier nicht etwa eine mit wachsender Stärke der Einwirkung allmählich zunehmende Schädigung, die schließlich, wenn sie weit genug getrieben wird, zum Absterben führt. Sondern die einzelne Zelle wird *entweder* getötet, *oder* sie bleibt ungeschädigt. Zunehmende Stärke oder Dauer der Einwirkung äußert sich nur darin, daß die *statistische Häufigkeit* des Absterbens größer wird[3]).

Beobachtungen dieser Art reichen bis an den Anfang unseres Jahrhunderts zurück, und haben jahrzehntelang unter den mit ihnen beschäftigten Forschern einen lebhaften Meinungsstreit erregt. Eine von vielen Verfassern vertretene Deutung — sie sei jetzt kurz die *„Variabilitätstheorie"* genannt — behauptet, daß das verschiedene Reagieren der verschiedenen Zellen ein Ausdruck biologischer Variabilität sei: Es sei für jede einzelne Zelle ein gewisser *Schwellenwert* in der Stärke (oder Dauer) der schädigenden Einwirkung anzunehmen: *vor* Erreichung dieser Schwelle geschieht nichts; bei Erreichung der Schwelle wird die Zelle getötet. Indem nun diese individuellen Schwellenwerte von Zelle zu Zelle verschieden sind, ergibt sich ein ungleichmäßiges Absterben der bestrahlten oder sonstwie beeinflußten Zellen.

Demgegenüber behauptet die biologische *„Treffertheorie"*, daß die Unstetigkeit der fraglichen Tötungen auf einer entsprechenden Unstetigkeit der *Einwirkung* beruhe, so daß der Vorgang in unmittelbare Analogie zum früher besprochenen Fall der Lichtabsorption durch Na-Atome zu stellen sei. Wir haben dann also als Primärvorgang der Tötung ein gewisses unstetiges, sprunghaftes Ereignis anzusehen, welches wir zunächst ohne genauere Analyse seiner physikalischen Natur als den „Treffer" bezeichnen wollen. Ist ein Treffer erfolgt, so ergibt sich das

[2]) Dies sei betont, weil diese selbstverständliche und unentbehrliche Voraussetzung der „Verstärkertheorie der Organismen" kürzlich überraschenderweise als *Einwand* gegen diese Theorie bewertet wurde.

[3]) Freilich kann ein tötendes Agens an einer bestimmten Zellart *neben* einer derartigen, dem Alles-oder-Nichts-Gesetz entsprechenden Tötung auch noch *außerdem* eine abstufbare Schädigung bewirken.

Absterben mit kausaler Zwangsläufigkeit[4]). Eintreten oder Nichteintreten des Treffers aber unterliegt einer *statistischen* Gesetzlichkeit, so daß auch bei exakter Gleichheit der fraglichen Zellen die einen früher absterben und die anderen später.

Der Streit um diese beiden verschiedenen Deutungen hat jahrzehntelang hin und her gewogt, wobei oft beiderseits unzulängliche Argumente vorgetragen wurden. Wir dürfen ihn heute jedoch als entschieden betrachten. Das Vorhandensein biologischer Variabilität soll natürlich nicht geleugnet werden; wohl aber das Vorhandensein der angeblichen „Schwellenwerte", die es hier in Wahrheit ebensowenig gibt, wie bei den Licht absorbierenden Na-Atomen. Selbstverständlich — um auch das zu betonen — gibt es aber zahllose Beispiele von Tötungen, die *nicht* nach dem angedeuteten Schema einer *„Ein-Treffer-Tötung"* verlaufen, sondern in mehreren Stufen — unter Umständen auch in sehr *vielen* Stufen, also als praktisch *stetiger* Vorgang.

Mathematisch ist eine Ein-Treffer-Tötung durch ein einfaches Gesetz gekennzeichnet: *Für sehr schwache Einwirkung ist die statistische Häufigkeit der Tötung proportional der Stärke (bzw. Dauer) der Einwirkung.* Diese Gesetzmäßigkeit liefert, wo sie sich bis zu hinreichend schwachen Einwirkungen experimentell erweisen läßt, den *eindeutigen* Beweis für die Treffernatur der Tötung. In denjenigen Fällen, wo die biologische Variabilität für das fragliche Experiment *keine* Rolle spielt, gilt auch noch für stärkere Einwirkungen ein einfaches mathematisches Gesetz: Die Anzahl der überlebenden Zellen nimmt bei gesteigerter Einwirkung *exponentiell* ab, ganz wie die Anzahl „überlebender" radioaktiver Atome. Daß man auch dieses Gesetz an einer Reihe von Beispielen bestätigen konnte, zeigt uns empirisch, daß tatsächlich in Vorgängen dieser Art die Bedeutung der Variabilität geringer wird: eine Tatsache, die bestens damit harmoniert, daß beim Hinabsteigen von den Großindividuen der biologischen Welt zu den Molekülen und Atomen als mikrophysikalischen Individuen die individuelle Variabilität allmählich *verlorengeht.*

Bevor wir die physikalische Analyse des Treffervorganges weiter verfolgen, sei auf die bedeutsamen Erkenntnisse der *Genetik* hingewiesen. Die *steuernde* Rolle des Zellkerns und seiner Gene ist uns ja nirgends so ausführlich und exakt erfaßbar, wie im Falle der Keimzellen höherer Organismen. Die gesamte Genetik ist beherrscht von der Grundtatsache der *Unstetigkeit der Mutation.* Die Zustandsänderung eines Gens — der Übergang von einem Gen-Allel zu einem anderen — geschieht sprunghaft, nach einem Alles-oder-Nichts-Gesetz; und dem einzelnen Gen-Allel kann *keine biologische Variabilität* mehr zugebilligt werden.

Eigentlich ist damit schon alles entschieden, worauf es uns ankommt — alle anderen Feststellungen geben demgegenüber nur weitere Bestätigungen. Denn es gibt gar keine Möglichkeit, die Unstetigkeit der Mutation physikalisch-chemisch zu verstehen, sofern man sich nicht dazu entschließt, sie für einen *Quantensprung* zu halten — und entsprechend das Gen für ein einzelnes Molekül. Dieser Schluß hat eine wertvolle Stütze erhalten durch die Feststellung, daß die Einzelteilchen vieler Virusarten ebenfalls einzelne Moleküle sind, und zwar wohldefinierte, einander exakt gleichende Moleküle ohne individuelle Variabilität: die Analogie von Gen und Virusteilchen liegt ja auf der Hand. Denken wir jetzt daran, daß man Mutationen künstlich erzeugen kann, z. B. durch Röntgenstrahlen, Neutronenstrahlen, Ultraviolett: Entsprechend der Unstetigkeit des Mutationsvorganges tritt auch hier — wie bei den besprochenen Zelltötungen — die Reaktion eines bestimmten Gens in der einen Keimzelle früher und in der anderen später ein. Aber hier konnte keine Meinungsverschiedenheit über die diesbezügliche Deutung entstehen: Da dem Gen *keine* individuelle Variabilität zuzubilligen ist, so konnte ein Deutungsversuch im Sinne von „Schwellenwerten" gar nicht versucht werden[5]). Die quantitative Untersuchung der Abhängigkeit der strahleninduzierten Mutationsrate von der angewandten Strahlendosis erweist diese Mutationserzeugung einwandfrei als *Ein-Treffer-Reaktion.*

Es bleibt noch zu klären, worin nun der als „Treffer" bezeichnete unstetige Primärvorgang jeweils besteht. Handelt es sich um *ultraviolettes Licht,* so ist die Antwort ohne weiteres klar: eine Unstetigkeit der Einwirkung ist in diesem Falle dadurch gegeben — und *nur* dadurch gegeben —, daß diese Strahlung aus einzelnen unteilbaren *Lichtquanten* besteht. Wenn wir also — und das ist tatsächlich der Fall — in einer Ein-Treffer-Reaktion mit Ultraviolett eine Zelle töten oder eine Mutation auslösen können, so ist erwiesen, daß der verantwortlich zu machende Treffer eine *Absorption eines einzigen Lichtquants* war.

Ebenso unmittelbar kommen wir auf einen mikrophysikalischen Einzelvorgang als tödlichen Treffer, wenn wir an die erwiesenen Fälle einer Ein-Treffer-Tötung durch Gifte wie Phenol denken: Hier ist die Unstetigkeit der Einwirkung dadurch gegeben, daß das Gift aus einzelnen Molekülen besteht; wir müssen daher die Reak-

[4]) Wir sprechen hier also *definitionsgemäß* von einem Treffer nur dann, wenn der zum Absterben führende Vorgang tatsächlich eingeleitet worden ist.

[5]) Es ist aber lehrreich, die „Variabilitätstheorie" der Zelltötungen — die von einzelnen Verfassern auch heute noch verteidigt wird — einmal auf die Mutationserzeugung durch Strahlungen zu übertragen; man merkt dann, wie unnatürlich diese Theorie ist.

tion *eines einzigen Phenolmoleküls*, das zufällig an eine mikrophysikalisch empfindliche Stelle gelangt, als die im Einzelfall indeterminierte Endursache der Tötung annehmen.

Nicht ganz so unmittelbar klärt sich die Frage nach der Natur des Treffereignisses bei Tötung oder Mutationsauslösung durch *ionisierende Strahlungen* (Röntgenstrahlen, Alphastrahlen, Neutronenstrahlen). Werden beispielsweise Bakterien durch Alphastrahlung getötet, so enthält ja die Einwirkung eine zweistufige Unstetigkeit: die Strahlung besteht aus einzelnen Alphateilchen, und jedes Alphateilchen bringt längs seiner Flugbahn zahlreiche einzelne Ionisierungen zustande. Man kann also zunächst im Zweifel sein, ob das trefferhaft tötende Primärereignis vielleicht in der Durchquerung der Zelle durch das Alphateilchen besteht, indem die Tötung sich aus der Gesamtwirkung der zahlreichen dabei ausgeführten Ionisierungen ergibt — oder ob statt dessen nur ein Teil dieser Ionisierungen für die Tötung wesentlich ist.

Man hat aber festgestellt, daß bei der Anwendung von *Röntgenstrahlen* innerhalb eines weiten Bereiches nur die Strahlen-*Dosis* maßgebend für die Mutations- oder Tötungsrate ist, während es auf die *Wellenlänge* nicht ankommt. Nun verläuft die Absorption der Röntgenenergie im Gewebe derart, daß zunächst *schnelle* Elektronen ausgelöst werden, welche ihrerseits längs ihrer Bahn viele weitere Ionisierungen mit durchschnittlich kleinem Energieaufwand vollziehen. *Harte* Röntgenstrahlen lösen primär sehr energiereiche Elektronen aus, welche längs ihrer Bahn in vergleichsweise *dünner* Folge ionisieren; *weiche* Röntgenstrahlen hingegen lösen langsamere Elektronen aus, die in *dichterer* Folge ionisieren. Wenn trotz dieser Verschiedenheit der räumlichen Verteilung der Ionisierungen nur die *Dosis*, d. h. die Gesamtzahl der erzielten Ionisierungen für die Wirkung maßgebend ist, so bedeutet das, daß je *eine einzelne* Ionisierung als wirksamer Treffer zu betrachten ist. (Erst bei sehr großen Ionisierungsdichten — sehr weichen Röntgenstrahlen im Fall der Tötung von Bact. coli oder Neutronenstrahlen im Fall der Drosophilamutationen — ergeben sich Besonderheiten, die wertvolle Verfeinerungen des erläuterten Bildes ermöglichen.)

Auch hier bestätigt also die Analyse des Treffervorganges die grundsätzlichen Schlüsse, welche sich bereits aus der Unstetigkeit der Mutation (bzw. Tötung) ergeben hatten: Mit abschließender Deutlichkeit erkennen wir ein *mikrophysikalisches Elementarereignis* — einen einzelnen Quantensprung — *als steuernden Primärvorgang ins Makrophysikalische reichender biologischer Wirkungen.*

2. *Phylogenie.* Nachdem wir für die Einzelzelle und für die Ontogenese eines mehrzelligen Individuums ein Hervortreten einer auf der mikrophyskalischen Akausalität beruhenden Indeterminiertheit sichergestellt haben, bleibt zunächst doch festzustellen, daß für das *durchschnittliche* Verhalten großer Mengen gleichartiger Individuen unter gleichen Bedingungen — also etwa eine *Herde* von Tieren — eine strenge Determinierung eintritt. Es könnte also scheinen, als ob die Rolle der Indeterminiertheit sich auf das Einzelindividuum beschränken müßte, während das biologische Gesamtgeschehen, sobald wir es in größerem Maßstab betrachten, sich doch als ein kausal determinierter Vorgang erwiese, der durch den geologischen Anfangszustand der Erde und die auf sie ausgeübten Einflüsse der Sonne eindeutig vorausbestimmt wurde.

Jedoch wäre es voreilig, ein solches Urteil über die phylogenetische Entwicklung des Lebens auf der Erde zu fällen. Wir dürfen nicht vergessen, daß die biologischen *Vermehrungsvorgänge* unter Umständen eine lawinenartige Auswirkung einer einzelnen Mutation ermöglichen können: darin liegt auch die grundsätzliche Möglichkeit, daß ein einzelner mikrophysikalischer Elementarakt, der als historisches Ereignis tatsächlich eingetreten ist, der aber naturgesetzlich ebensowohl hätte ausbleiben können, zur Steuerung der phylogenetischen Entwicklung beigetragen habe. Für die Entscheidung, ob auch diese phantastische Möglichkeit — noch weit phantastischer, als die oben als zutreffend erwiesene — eine *Tatsache* sei, haben wir ein zwar nicht umfangreiches, aber doch zuverlässig beweiskräftiges Erfahrungsmaterial.

Als ersten Punkt erwähne ich den von DOBZHANSKY und STURTEVANT aufgestellten *Stammbaum von Drosophila-Varietäten.* Dieser umfaßt 18 verschiedene Varietäten der Fliege Drosophila, welche auseinander hervorgegangen sind durch *Chromosomenmutationen*[6]). Die der Ausarbeitung dieses Stammbaums zugrunde liegende Erwägung — deren Berechtigung durch den erzielten Erfolg eindrucksvoll erwiesen und durch besondere genetische Untersuchungen und Erfahrungen gestützt ist — ist diese: Für Chromosomenmutationen bieten sich an einem bestimmten Chromosom aus kombinatorischen Gründen so zahlreiche verschiedene Möglichkeiten, daß ein zweimaliges Eintreten genau der gleichen Chromosomenmutation praktisch ausgeschlossen ist. Beachten wir hier zweierlei: Jede neu entstandene derartige Varietät ist also ausgesondert aus der *Nachkommenschaft eines einzigen Individuums.* Und dieses Individuum war ausgezeichnet durch einen einzigen Mutationsakt, also einen einzigen mikrophysikalischen Elementarvorgang, der in einer seiner beiden elterlichen Keimzellen stattgefunden hatte.

Die für dieses Beispiel erwiesene *Verstärkung* eines mikrophysikalischen Elementarvorgangs zu einem Vorgang, dessen Ausmaße schon ins Gebiet

[6]) Der fragliche Stammbaum ist wiedergegeben bei G. GOTTSCHEWSKI, Naturwiss. 27, 612 (1939).

der Phylogenie hineinreichen, ist aber sicher nicht eine auf einen Einzelfall beschränkte Kuriosität. In den so verheißungsvollen vorliegenden Ansätzen zu einer auf die Genetik gestützten Analyse phylogenetischer Entwicklungsvorgänge spielt die Vorstellung eine wesentliche Rolle, daß eine von der Hauptmenge einer Tier- oder Pflanzenart *abgetrennte* Population — abgetrennt etwa durch geographische Verhältnisse — einen *Verlust* an selteneren Gen-Allelen erleidet: nach statistischen Zufallsgesetzen können die wenigen Träger eines gewissen seltenen Allels innerhalb dieser isolierten Population aussterben. Die Vorstellung, daß dieser Verlust in vielen Fällen *unwiederbringlich sei*, enthält offenbar die Voraussetzung, daß diejenige Mutation, durch welche das fragliche Allel einst erstmalig entstand, später niemals oder höchstens wenige Male wiederholt wird. Die einmalige Entstehung eines neuen Allels kann aber bei positivem Selektionswert zur Entfaltung einer neuen Rasse führen.

Als weiterer grundsätzlicher Punkt sei die allbekannte Tatsache hervorgehoben, daß die in den Organismen vorliegenden Substanzen, die ja größtenteils aus solchen Molekülen bestehen, welche mit ihren Spiegelbild-Isomeren nicht übereinstimmen, keineswegs in Form *razemisierter Gemische*, also mit gleicher Häufigkeit dieser beiden Isomeren, vorliegen — vielmehr handelt es sich im Gegenteil in den meisten Fällen geradezu um eine hundertprozentige Verwirklichung nur des einen der beiden spiegelbildlichen Isomeren. Die Erstaunlichkeit dieser Tatsache ist von verschiedenen Forschern nachdrücklich betont worden, ohne daß man früher auch nur die geringste Andeutung einer glaubwürdigen Erklärung hätte finden können. Es handelt sich ja sozusagen um die fundamentalste Erkenntnis der gesamten Biochemie — die *Deutung* dieser Tatsache muß von ähnlich grundsätzlichem und eingreifendem Charakter sein, wie die Tatsache als solche. Man kann aber über den Sinn dieser wunderbaren Tatsache gar nicht im Zweifel sein, wenn man berücksichtigt, was wir soeben festgestellt hatten.

Denken wir an das berühmte Problem der *„Urzeugung"* des Lebens auf unserem Planeten. Wir werden das Wort „Urzeugung" passenderweise am besten anwenden können auf den Vorgang der *erstmaligen Bildung autokatalytisch vermehrungsfähiger Eiweißmoleküle*. Die *Vermehrungsfähigkeit* ist ja das eigentliche *Grundphänomen* alles organischen Lebens: jeder Organismus geht aus einem gleichartigen mütterlichen Organismus hervor; und wir können dies zurückverfolgen bis zu den einzelnen Genen und Virusmolekülen, die ebenfalls nie spontan — und nie als Reaktionprodukte *andersartiger* Moleküle —, sondern nur durch einen Vermehrungs- oder Verdoppelungsvorgang entstehen, welchen wir in chemischer Sprechweise als eine *autokatalytische* Vermehrung kennzeichnen können.

Wäre nun die erstmalige Bildung autokatalytisch vermehrungsfähiger Eiweißmoleküle irgendwo auf der Erde in makroskopischen Ausmaßen vor sich gegangen — als eine kausal determinierte chemische Reaktion, bei der sich vielleicht im Schlammgewässer eines Meeres ein ganzes Milligramm dieser Substanz gebildet hätte —, so hätte sich unausweichlich ein razemisiertes Gemisch bilden müssen. Wir sind zu der erstaunlichen Folgerung gezwungen, daß die im erläuterten Sinne verstandene Urzeugung als *mikrophysikalischer* Vorgang angenommen werden muß, als ein Elementarvorgang, der sich höchstens wenige Male wiederholt haben könnte — und der demnach wahrscheinlich geradezu als *einmaliger*, nie wiederholter schöpferischer Treffer vorzustellen ist: so daß wir alles vermehrungsfähige Eiweiß, das auf der Erde vorhanden ist oder vorhanden war, aus der „Nachkomenschaft" *eines einzigen Muttermoleküls* abzuleiten hätten. —

Die angestellten Betrachtungen beabsichtigen keine Stellungnahme zu der zwischen den Biologen verschiedener Lager umstrittenen Frage nach dem Verhältnis von „Mikroevolution" und „Makroevolution", sondern gehen in eine andere Richtung. Jedoch *berühren* sie sich offenbar mit jener Problematik, indem sie wahrscheinlich machen, daß die eigentlich schöpferischen Ansätze in der Phylogenese nicht auf der breiten Wirkung der ständig sich wiederholenden *häufigen* Mutationen beruhen, sondern vielmehr auf der lawinenartigen Auswirkung von höchst *seltenen* Mutationsschritten, deren jeder nur einmal oder nur wenige Male im Ablauf geologischer Zeiträume eingetreten ist. Sicher ist jedenfalls, daß die phylogenetische Entwicklung in weitesten Ausmaßen gesteuert ist durch indeterminierte mikrophysikalische Einzelereignisse, deren jedes eine freie, nicht mehr kausal analysierbare historische Entscheidung bedeutet hat.

3. *Mehrzeller.* Erinnern wir uns an die alltägliche Erfahrung, daß beim (farblosen) Dämmerungssehen mit abnehmender Helligkeit das Wahrgenommene nicht nur lichtschwächer, also kontrastärmer, sondern überdies auch in seinen Formen *undeutlicher* wird: Offenbar bedeutet das, daß bei sehr schwachen, nur noch schlecht wahrnehmbaren Lichteindrücken die Sehzellen unserer Netzhaut *nur noch teilweise mitspielen*. Worauf beruht das aber? Die Lehrbücher der Physiologie bringen hierfür gewöhnlich eine Erklärung, welche genau der *„Variabilitätstheorie"* der Einzeller-Tötung analog ist: Danach soll es für jede Sehzelle einen gewissen *Schwellenwert* der für sie wahrnehmbaren Lichtintensität geben; und indem dieser Schwellenwert von Zelle zu Zelle variiert, scheiden die Zellen bei abnehmender Beleuchtung teils früher, teils später aus der Mitwirkung aus. Es sei einmal grundsätzlich ausgesprochen, daß diese bei vielen Biologen so beliebte Vorstellung

von „Schwellenwerten" ein ernstes Hindernis für eine Vertiefung physiologischer und biophysikalischer Analyse ist. Diese Vorstellung hat eine gewisse Berechtigung als eine ganz grobe und vorläufige Beschreibung hochkomplizierter Gesamtvorgänge, die sich einstweilen einer genaueren Zergliederung entziehen. Haben wir es aber irgendwo zu tun mit Abläufen, deren physikalisch-chemische Bedingungen einigermaßen übersehbar sind, so bleibt für „Schwellenwerte" kein Raum; und zwar deshalb, weil es keinerlei Möglichkeit gibt, für eine Reaktion mit Schwellenwert ein einfaches physikalisch-chemisches Modell anzugeben.

Im Falle der Sehzellen jedenfalls wissen wir mit Sicherheit einerseits, daß es hier keine derartige Schwelle gibt, und andererseits, daß die Außerspielsetzung eines Teils der Sehzellen bei sehr schwacher Beleuchtung im Sinne einer *Trefferstatistik* zu verstehen ist. Eine Reihe von verschiedenen Verfassern hat nämlich übereinstimmend gefunden, daß das dunkeladaptierte menschliche Auge noch schwache Lichtblitze wahrzunehmen vermag, bei welchen nur *wenige Lichtquanten* — höchstens 5 bis 10 — zur Einwirkung auf die Sehzellen gelangen. Diese Experimente sind durchweg so ausgeführt, daß man zu ermitteln suchte, wie weit man die Lichtblitze abschwächen kann, ohne daß sie unsichtbar werden. Natürlich ergibt sich dabei in Wahrheit keine scharfe Grenze. Eine exakte Aussage wäre zu gewinnen, wenn man auch hier eine richtige *trefferstatistische Auszählung* machen würde: jedoch ist ein solches Experiment, obwohl es recht einfach wäre, noch nicht unternommen. Wir möchten vermuten, daß sich dabei eine Ein-Treffer-Reaktion ergeben würde; daß also schon *ein einziges Lichtquant*, welches in einer Sehzelle absorbiert wird, einen Bewußtseinsvorgang auslösen könnte.

Aber auch dann, wenn wir uns zunächst an die experimentell gesicherte Zahl von höchstens 5 bis 10 Lichtquanten halten, dürfen wir sagen, daß das Wort „phantastisch" viel zu schwach erscheint, um die Merkwürdigkeit dieses Befundes zu kennzeichnen. Zwar geht ja die zuvor betrachtete Verstärkung einzelner mikrophysikalischer Elementarakte zu Vorgängen phylogenetischen Ausmaßes im Endergebnis noch weit hinaus über den jetzt betrachteten Verstärkervorgang. Aber dem lawinenmäßigen Anschwellen mikrophysikalisch ausgelöster phylogenetischer Wirkungen stehen ja auch geologische Zeiträume zur Verfügung. Jetzt dagegen haben wir es mit einer biologischen Verstärkerwirkung zu tun, die in Bruchteilen einer Sekunde aus einem oder höchstens einigen Quantensprüngen eine makrophysikalische Reaktion eines ganzen Menschen hervorgehen läßt — derart etwa, daß die Versuchsperson *sagt*, sie habe den Lichtblitz gesehen.

Wo findet nun diese Verstärkung statt? Vielleicht geschieht schon in der Sehzelle die Auslösung eines makrophysikalischen Vorgangs durch das absorbierte Lichtquant. Dann hätte die zugehörige Nervenfaser also eine makrophysikalische Erregung weiterzuleiten; und das würde unmittelbar den vorhandenen Theorien der Nervenleitung entsprechen, welche bei aller Verschiedenheit ihrer Einzelheiten doch darin übereinstimmen, daß sie sich die Reizleitung im Nerven grundsätzlich als einen makrophysikalisch beschreibbaren Vorgang vorstellen.

Es wäre aber auch denkbar, daß die Sehzelle nur eine geringere Verstärkung vollzieht, und daß die im Nerven fortwandernde Erregungsenergie selber von mikrophysikalischer Größenordnung ist. Obwohl wir hier auf Fragen kommen, die heute nur einer ganz hypothetischen Behandlung zugänglich sind, mögen einige weitere Bemerkungen dazu erlaubt sein. Die Nervenleitung ist ja zweifellos ein recht verwickelter Vorgang; und offenbar ist es so, daß ihre im Laufe der phylogenetischen Entwicklung durchgeführte Vervollkommnung nur in fortschreitender Approximation dasjenige verwirklicht, was wir als den eigentlichen Idealfall der Reizleitung anzusehen haben, und was anscheinend ein im physikalischen Sinne *einfacher* Vorgang ist. Die Tatsache, daß die Geschwindigkeit der Erregungsleitung im Tierreich von 5 cm/sec bis 10^4 cm/sec ansteigt, zeigt eindrucksvoll die Entwicklung der Nervenreizleitung von unvollkommeneren zu leistungsfähigeren Formen. Obwohl wir heute ein recht zuverlässiges Bild insbesondere von den elektrischen Vorgängen bei der Reizleitung haben, so scheint es doch nicht ausgeschlossen, daß die bislang näher studierten physikalisch-chemischen Vorgänge mehr die Bedeutung sekundärer Begleiterscheinungen des eigentlichen Grundvorganges haben. Dieser Grundvorgang, der in seiner idealen (nur approximativ verwirklichten) Form anscheinend ausgezeichnet ist durch *Ermüdungsfreiheit* und durch ein für die Stärke der einzelnen Erregungsimpulse geltendes *Alles-oder-Nichts-Gesetz*, ist vielleicht gar nicht als makrophysikalischer Vorgang zu verstehen, sondern als ein der Mikrophysik näher kommender, etwa in der Art der von DEHLINGER untersuchten *Umklappvorgänge* in Kristallen.

Wenn es wahr sein sollte, daß auch die Nervenleitung — sofern wir in Gedanken ihre eigentliche ideale Form herausschälen — als ein Vorgang von mikrophysikalischem Feinheitsgrad betrachtet werden muß, so würde man es wagen dürfen, allgemein das materielle Korrelat psychischer Prozesse in ebenfalls mikrophysikalischen Abläufen zu vermuten. Damit träten auch die psychischen Prozesse des Menschen endgültig heraus aus dem Kreise makrophysikalischer lückenloser Determiniertheit — und es würde sich vielleicht eine neue Möglichkeit ergeben, die so oft empfundene Disharmonie zu beseitigen, die sich ergibt, wenn wir die Vorstellung geschlossener kausaler Determinierung anwenden auf psy-

chische Prozesse mit ihrer eigentümlichen schöpferischen Freiheit.

Es ist eingangs betont worden, daß die philosophischen Fragen, die sich aufdrängen im Anschluß an die Ergebnisse unserer naturwissenschaftlichen Untersuchung, als solche nicht erörtert werden sollen. Wohl aber dürfen wir aussprechen, daß künftighin keine philosophische Betrachtung des Problems der „Willensfreiheit" an diesen Ergebnissen vorübergehen kann. Die naturwissenschaftliche Situation, welche etwa KANT in seiner Untersuchung dieses Problems *vorausgesetzt* hat, ist heute *nicht mehr vorhanden.*

Nachbemerkung. Die empirischen Unterlagen für die Beurteilung der im letzten Teil dieses Vortrages behandelten Fragen sind inzwischen wesentlich erweitert und präzisiert worden durch Arbeiten von H. AUTRUM, Biol. Zbl. *63*, 209 (1943) und HL. DE VRIES, Physica *10*, 553 (1943). Danach kann die obige Vermutung als sicher begründet angesehen werden, daß beim Stäbchensehen bereits durch ein einzelnes Lichtquant — welches ein einzelnes Sehpurpurmolekül umsetzt — eine fortleitbare Erregung zustande kommt. Jedoch bestehen nach AUTRUM Gründe, anzunehmen, daß ein solcher Einzelvorgang im allgemeinen noch nicht zu einem Bewußtseinsvorgang führt, sondern daß vor der Weiterleitung zum Gehirn in den Ganglien eine „Siebung" der empfangenen Erregungen stattfindet, derart, daß erst beim nahen Zusammentreffen mehrerer Elementarerregungen (etwa 50 nach AUTRUMs Schätzung) eine Lichtempfindung zustande kommt. Eine solche Siebung ist, wie AUTRUM mit Recht betont, offenbar biologisch zweckmäßig, da sie die Störungen unterbindet oder wesentlich herabsetzt, welche aus den durch die Quantenstruktur des Lichtes bedingten Schwankungseffekten entstehen würden. Im Gegensatz zu diesem sehr einleuchtenden Gedanken vertritt DE VRIES allerdings die quantitativ begründete Ansicht, daß diese Schwankungseffekte im vollen Umfange empfunden werden können. Für eine sichere Entscheidung dieser beachtenswerten Frage dürfte die oben vorgeschlagene treffermäßige Analyse einen besonders bequemen Zugang bilden.

Zusatz bei der Korrektur: Die als erwünscht bezeichnete trefferstatistische Analyse der Lichtempfindung ist inzwischen bereits ausgeführt: H. A. VAN DER VELDEN, Physica 11, 179 (1944) begründet die These, daß jeweils *zwei* Lichtquanten eine Lichtempfindung auslösen können.

Über die Indeterminiertheit und die Verstärkererscheinungen in der Biologie.

Von F. MÖGLICH (Berlin), R. ROMPE (Berlin) und N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY (Berlin-Buch).

1. Bei der Diskussion der im Titel angeführten Problemstellungen ist es zweckmäßig, sich von vornherein über *die wesentlichen Unterschiede der Objekte der Physik und der Biologie* klar zu werden. Die Unterschiede sind von verschiedener Art und wir wollen sie kurz besprechen.

Ein wesentliches Kennzeichen der biologischen Objekte ist zunächst ihre historische Einmaligkeit. So, wie wir durchaus als gesichert annehmen können, daß jedes Atom identisch ist mit allen anderen seiner Art, so können wir in der Biologie von der Annahme ausgehen, daß zu jedem individuellen Objekt kein in strengem Sinne identisches vorhanden ist. Dieses ist ein Unterschied, der von grundlegender Bedeutung zu sein scheint. Ein zweiter Unterschied ist der, daß während in der Physik die Objekte mit der gleichen Sicherheit als zeitlich unverändert angenommen werden können, daß also ein Natriumatom im Jahre 1944 absolut dieselben Eigenschaften besitzt wie ein solches zur Zeit der Erschaffung der Welt, in der Biologie, wiederum im Gegensatz hierzu, die Objekte durchaus zeitlich veränderlich sind. Biologische Objekte unterliegen eben grundsätzlich der Evolution.

Außerdem muß man in der Biologie, besonders im Hinblick auf quantenbiologische Vorgänge und eine eventuelle Anwendung des Verstärkerprinzips, zweierlei Ereignisse unterscheiden. Einmal kann es sich um Ereignisse an biologischen Elementareinheiten oder -objekten handeln, die sich im Leben des einzelnen Individuums auswirken, also um rein ontogenetische Einflüsse; etwa z. B., daß nach einem Absorptionsakt sich irgend etwas im Individuum ändert und Konsequenzen makrophysikalischer Art an ihm hervorruft. Andererseits kann es sich um Primärereignisse handeln, die zwar den physiologischen Zustand des Individuums nicht merklich beeinflussen, wohl aber makrophysikalische Änderungen in seiner Nachkommenschaft hervorrufen; das Primärereignis erzeugt somit eine Kette von zeitlich aufeinanderfolgenden Individuen mit geänderten Eigenschaften und wirkt sich also phylogenetisch aus. Wir müssen im folgenden diese beiden Möglichkeiten im Auge behalten.

2. Von sehr wesentlicher Bedeutung ist weiterhin *die Formulierung des Begriffes der Elementareinheit* und die Verhältnisse, die wir beim Experimentieren mit derselben vorfinden.

Je nach dem Fragenkomplex wird die physikalische Elementareinheit definiert als: Atom, Atomkern, Elementarpartikel. Diese Gebilde haben definierte Eigenschaften, die sich als beliebig reproduzierbar erweisen. Dieses hat seine besondere Bedeutung bei allen statistischen Betrachtungen; wir können in der Physik tatsächlich immer vor-

aussetzen, daß wir Kollektive von ausreichend großer Anzahl von Bestandteilen haben.

Anders ist es in der Biologie. Hier ist die Elementareinheit wesentlich schwerer zu definieren; es ist auch, wegen des hierarchisch-architektonischen Aufbaues der biologischen Individuen, deren Vielfältigkeit größer als die der Objekte in der Physik. Ihre Ausdehnung ist relativ zu der der physikalischen meist als sehr groß zu bezeichnen; so besteht z. B. die Elementareinheit der Genetik, das Gen, vielleicht aus etwa 10^6 Atomen. Dafür ist ihre Zahl beschränkt und man kann meistens nicht die Annahme machen, daß man eine unbegrenzt große Anzahl gleichartiger Elementareinheiten der Statistik zugrundelegt. Außerdem sind die meisten biologischen Elementareinheiten in verschiedenen Kombinationen zu Verbänden höherer hierarchischer Ordnung zusammengefaßt (z. B. Zellen oder Individuen), wobei es nicht belanglos ist, in welcher Kombination sich die einzelne, ins Auge gefaßte Elementareinheit befindet. Dadurch wird die Zahl auch der an sich häufigen Elementareinheiten, im Sinne ihrer strengen Gleichartigkeit und der Anwendungsmöglichkeit statistischer Gesetzmäßigkeiten, noch ganz wesentlich herabgesetzt.

3. Die biologischen Elementareinheiten besitzen wahrscheinlich überdies noch eine merkwürdige Besonderheit, auf die wir in diesem Abschnitt eingehen wollen: in der Biologie könnte sich nämlich *ein Prinzip der Pluralität der Phänomene* verwirklichen. Wir müssen, um diesen Sachverhalt verständlich zu machen, etwas weiter ausholen.

Gegenstand jeder naturwissenschaftlichen Theorie sind bekanntlich nicht die Phänomene selbst, sondern die diesen zugeordneten Begriffe. Die allgemein bekannte Analyse der theoretischen Verknüpfung von Beobachtungsergebnissen hat diesen Sachverhalt ja zur Genüge im einzelnen geklärt. Wir stellen uns, um HEINRICH HERTZ zu zitieren, die Aufgabe, Bilder oder Modelle zu entwickeln, deren denknotwendige Folgen sich mit den naturnotwendigen Folgen des Geschehens in der Außenwelt in möglichst guter Übereinstimmung befinden. Die Modelle, die wir verwenden, sind aus Begriffen zusammengesetzt, welche aus früheren Erfahrungen abgeleitet sind, und besitzen daher definierte und genau übersehbare Eigenschaften. Da der größte Teil unserer physikalischen Erfahrungen aus dem großen Gebiet der Mechanik der festen Körper resultiert, haben wir es hauptsächlich mit Begriffsbildungen zu tun, die Modellen der makrophysikalischen Welt entnommen und daher auch Eigenschaften besitzen, die mit unserer makrophysikalischen Erfahrung in guter Übereinstimmung stehen. Eine ganz neue Situation ist hier durch das Hervortreten der Quantentheorie entstanden.

Die Erfahrungen in der Welt der Atome haben gezeigt, daß in Dimensionen von der Ausdehnung der Atome, d. h. von etwa 10^{-8} cm, den Phänomenen der Außenwelt, bzw. den diesen zugeordneten Begriffen, Eigenschaften beigelegt werden müssen, wie sie in der Makrophysik niemals beobachtet worden sind. Man faßt dieses besondere Verhalten der mikrophysikalischen Gebilde hinsichtlich ihrer Eigenschaften unter der Bezeichnung „duales Verhalten" zusammen. Damit ist folgendes gemeint: Die Beschreibung aller Eigenschaften eines physikalischen Dinges atomarer Dimensionen erfordert die Heranziehung von gleichzeitig zwei, sich im Makrophysikalischen ausschließenden Modellvorstellungen. Während also von einem makrophysikalischen Ding mit Sicherheit gesagt werden kann, daß es niemals eine Eigenschaft zugleich mit der zu dieser komplementären besizt, gilt dieses für die Mikrophysik nicht mehr. So kann ein makrophysikalisches Ding etwa eine „Korpuskel" sein oder eine „Welle"; ein fliegendes Geschoß ist z. B. eine Korpuskel und der durch das fliegende Geschoß in der Luft ausgelöste Vorgang ein Wellenvorgang. Wellennatur und Korpuskularnatur sind ein Paar komplementärer Begriffe (im Sinne jeder vernünftigen Begriffsdefinition). Im Bereich der physikalischen Elementareinheiten, in atomaren Dimensionen, ist im Gegensatz hierzu diese Eigenschaft der Dinge verlorengegangen. Es kann hier sehr wohl ein Ding die Eigenschaft Korpuskel und die Eigenschaft Wellenvorgang besitzen.

Naturgemäß sind die komplementären Eigenschaften eines atomaren Gebildes nicht gleichzeitig vorzufinden, sondern sie hängen davon ab, in welcher Weise das Experiment angestellt wird; d. h. also von dem Experimentator selbst oder, besser, von den zum Experiment benutzten Instrumenten. Dieses Dualitätsprinzip begründet sich auf Erfahrungen, die die Physik bei der Untersuchung der atomaren Vorgänge gemacht hat. Es besagt, daß die Gegenstände der Atomphysik nicht mehr mit den Begriffen beschrieben werden können, die wir durch Abstraktion der Makrophysik entnommen haben. Die Gebilde haben nur zum Teil die Eigenschaften, die wir an den Körpern der Makrophysik, d. h. im wesentlichen am festen Körper, wahrnehmen können; jedoch so, daß immer, soweit wir die Eigenschaften der Vorgänge im atomaren Gebiet prüfen können, die Gültigkeit der klassischen Physik gewahrt bleibt. Es liegt hierbei der Akzent auf dem Wörtchen „soweit"; insofern, als gesagt werden kann, daß man die Aussagen der klassischen Physik nicht immer zu prüfen imstande ist. Das Dualitätsprinzip besagt nun nichts mehr, als daß es feststellt, was überhaupt maximal an einem Objekt der Atomphysik erkannt werden kann, wenn die Gültigkeit sämtlicher Aussagen der klassischen Physik gleichzeitig nicht nachprüfbar ist. Die Doppelnatur der atomaren Gebilde, der „Korpuskel- und/oder Wellencharakter", ist nichts anderes als ein Ausdruck für unser Unvermögen, in anderen als der Makrophysik

entnommenen Begriffen und Anschauungen zu denken. Wir können auch verstehen, worauf diese Diskrepanz zwischen Mikro- und Makrophysik beruht. Auch dieses ist eine durchaus erledigte Fragestellung; sie beruht darauf, daß die Rückwirkung der Messung auf das Objekt in der Mikrophysik nicht mehr zu vernachlässigen ist.

Dieser kurze Exkurs in die bekannten, durch die Quantentheorie der Physik neu eröffneten Denkmöglichkeiten soll uns für das uns hier interessierende Problem folgendes zeigen. Wenn wir irgendwo eine störende Rückwirkung der Messung auf das untersuchte Objekt befürchten müssen, dann ist es gerade im Bereich der elementaren Lebensvorgänge. Es ist als ganz sicher anzunehmen, daß sondierende Eingriffe physikalischer Art in biologische Elementareinheiten diese modifizieren. Wir müssen also von vornherein damit rechnen, daß durch diese nicht zu vernachlässigende Rückwirkung ähnliche Schwierigkeiten entstehen werden wie in der Atomphysik. Zu welchen Konsequenzen kann das führen? Es wird zunächst einmal zu genau demselben Dualismus führen, wie in der Quantenphysik; sofern nämlich die biologischen Einheiten gleichzeitig auch solche im Sinne der Physik sind. Und es ist nicht von der Hand zu weisen, daß die biologischen Elementareinheiten, trotz ihrer relativen Größe, gerade eben an der Grenze der Gebilde liegen, die noch in die mikrophysikalische Welt gehören.

Sodann ist es aber durchaus wahrscheinlich, daß es grundsätzlich noch andere Möglichkeiten des Ausweichens vor der starren Gültigkeit der makrophysikalischen Erfahrungen gibt, als die durch die physikalische Dualität gekennzeichnete. Es ist immerhin denkbar, daß so, wie wir zur Darstellung der atomphysikalischen Geschehnisse zwei komplementäre Begriffsbilder, Modelle, benötigen, wir zur Darstellung der Lebensvorgänge noch wesentlich mehr heranziehen müssen; und daß erst die Heranziehung vieler Modelle uns die Beschreibung der Lebensvorgänge ermöglichen wird. Wir müssen vor allem damit rechnen, daß die Anwendung eines — des physikalischen — Modells uns nur eine bestimmte Eigenschaftsgruppe der biologischen Objekte wird verstehen lassen. Naturgemäß werden es gerade die physikalischen Eigenschaften sein, die wir zu verstehen uns die Hoffnung geben können.

Wir können für die Erweiterung des Dualitätsprinzips der Physik zu einem „Plularitätsprinzip" der Biologie etwa folgende Denkmöglichkeit ins Auge fassen. Sprechen wir im Sinne der oben gebrachten Überlegung den Satz aus, daß die physikalisch-chemischen Gesetzmäßigkeiten überall, auch in der lebenden Natur, Geltung haben, soweit wir sie haben nachprüfen können. Gleichzeitig mit einer solchen Nachprüfung kann man aber nicht die Lebensvorgänge ungestört beobachten; besonders wenn es sich um biologische Elementareinheiten handelt, weil die kontrollierenden Eingriffe zur Verifizierung des physiko-chemischen Ablaufes derart sind, daß sie den ungehinderten Verlauf der Lebensprozesse stören. Wenn wir also das biologische Geschehen grundsätzlich in zwei Teilgebiete, das physikalisch-chemische einerseits und den eigentlichen Lebensablauf andererseits, trennen, so sind diese beiden Erkenntnisbereiche im selben Sinne komplementär, wie es die Korpuskel- und die Wellenvorstellung im gesamten physikalischen Geschehen sind. Innerhalb des physikalisch-chemischen Geschehens ist jedoch die Dualität der Quantenphysik mitinbegriffen, und man sieht, daß man zur vollständigen Erfassung der biologischen Gesamtheit der Geschehnisse mit einer einfachen „Dualität" nicht auskommt, sondern zu einem Pluralitätsprinzip wird greifen müssen. Diese Überlegung ist naturgemäß sehr primitiv. Vor allen Dingen darf nicht vergessen werden, daß ja unserer Begriffsbildung die Eigenschaften anhaften, die eben den Modellen der Makrowelt entstammen, wonach zu jedem Begriff nur ein komplementärer gedacht werden kann. Es besteht jedoch durchaus die Möglichkeit, daß auch dieses nur eine der Makrophysik entlehnte Denkgewohnheit ist.

Die Pluralität vereinfacht sich allerdings in praxi häufig wieder zu einer Dualität, wenn man auf die ausdrückliche Hervorhebung der physikochemischen Dualität verzichtet, da diese sich bei den verhältnismäßig großen Gebilden, wie die biologischen Elementareinheiten es sind, oft schon verflüchtigt hat und in vielen Fällen außer acht gelassen werden kann. Oder wenn man, andererseits, sich ausdrücklich auf die Analyse der physiko-chemischen Abläufe konzentriert und den komplementären Lebensablauf vernachlässigt.

Im übrigen wird man gut daran tun, im Rahmen der biologisch-physiko-chemischen Untersuchungen die Dualität und damit die Quantenstruktur der Materie nicht zu stark und unnötig in den Vordergrund zu rücken. Schließlich muß darauf hingewiesen werden, daß die Dualität im biologischen Gebiet von anderer Art als die vorhin gekennzeichnete physikalische Dualität ist. Die physikalische Dualität ist allen Körpern gemeinsam und gilt auch für die Makrophysik; nur ist sie hier, wegen der großen zur Verfügung stehenden Massen, praktisch nicht bemerkbar. Das Dualitätsprinzip der Biologie gilt wohl kaum für alle Körper, sondern ist, soweit man es heute übersehen kann, gebunden an gewisse morphologisch-architektonische Voraussetzungen, die z. B. bei der Zelle gerade erfüllt zu sein scheinen. Ob diese Voraussetzungen auch für Teile einer Zelle zutreffen, kann man heute wohl noch nicht entscheiden, doch möchte man diese Frage eher verneinen als bejahen.

Wir wollen aber nicht verfehlen, darauf hinzuweisen, daß noch ein wesentlicher Unterschied zwischen der biologischen Pluralität und der physikalischen Dualität besteht. Während, wie wir oben sagten, die physikalische Dualität beim

Übergang von der Mikro- zur Makrophysik zurücktritt, ist etwas Entsprechendes für die biologische Pluralität, wegen der eingangs erwähnten sehr beschränkten Zahl identischer Einheiten, nicht zu erwarten.

4. Die Dualität im quantenmechanischen Sinne steht im Zusammenhang mit der Unbestimmtheitsrelation; diese wiederum bringt eine der klassischen Physik fremde *Indeterminiertheit* in die Physik, oder, wie man sich auch ausdrückt, einen grundsätzlichen Verzicht auf streng kausale Beschreibbarkeit. An sich ist eine derartige Situation der klassischen Physik nicht neu; der Ausbau der statistischen Thermodynamik und die Theorie der Schwankungserscheinungen haben gezeigt, daß im gewissen Sinne Indeterminiertheiten auch schon im Rahmen der in der klassischen Physik verwendeten Vorstellungen vorkommen können. Wenn wir die Fragen der quantenmechanischen und der klassisch-thermodynamischen Indeterminiertheiten ins Auge fassen, so wollen wir das im Rahmen der Begriffsbildung der Physik machen; philosophische Exkursionen wollen wir hier keineswegs anstellen.

Die klassisch-statistische Thermodynamik lehrt, daß alle physikalischen Systeme, welche aus vielen Elementarteilchen bestehen, als Folge dieses Umstandes dauernden Schwankungen räumlicher und zeitlicher Art der das System beschreibenden Parameter (wie z. B. Energie, Impuls, Dichte usw.) unterliegen. Das Eintreten eines bestimmten, von dem herrschenden Mittelwert abweichenden Betrages eines dieser Parameter ist nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorausberechenbar. Formuliert man ein Kausalitätsprinzip der klassischen Physik etwa so, daß ein physikalisches System sich durch eine Differentialgleichung beschreiben lassen muß, die bei Kenntnis aller Anfangswerte geeignet ist, den Zustand des Systems zu jedem beliebigen Zeitpunkt eindeutig zu kennzeichnen, so sieht man, daß die klassische „Unvorhersehbarkeit" der Schwankungserscheinungen nicht in grundsätzlichen Widerspruch zu diesem Kausalprinzip kommt. Sind die Anfangsbedingungen nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit bekannt, so kann man von den Folgezuständen auch nicht mehr verlangen.

Man könnte geneigt sein, bereits die Existenz von thermodynamischen Schwankungen als Folge des atomaren Aufbaus der Materie, als eine Einwirkung, allerdings eine triviale, der Quantenmechanik aufzufassen. Denn es ist ja sicher, daß die atomistische Struktur der Materie, die Existenz von Elementarteilchen, eine unmittelbare Auswirkung der besonderen, der klassischen Theorie fremden Quantenkräfte ist. Aber der Eingriff der Quantenmechanik ist viel schwerwiegender. Während wir oben sagten, daß die klassisch-thermodynamische Unbestimmtheit kein prinzipielles Versagen des Kausalprinzips darstellt, sondern lediglich praktisch seine Auswirkungen beschränkt (da zumindestens grundsätzlich die Einengung der Schwankungsbreite in den Anfangsbedingungen und damit auch in den Folgezuständen zugelassen ist), zeigt die Existenz der Ungenauigkeitsrelation, daß in der Natur eine grundsätzliche Mindestunschärfe der Anfangswerte vorgegeben ist, wodurch ein für allemal das Kausalprinzip zu einem Wahrscheinlichkeitsgesetz gestempelt wird. Im einzelnen sind diese Dinge bekannt und wir können auf die einschlägige Literatur verweisen (z. B. JORDAN 1936).

Bekanntlich machen sich die beiden Arten der physikalischen Indeterminiertheit praktisch wenig bemerkbar. Dies ist ja auch der Grund dafür, daß die Abstraktion des strengen Kausalbegriffes sich so lange und mit so gutem Erfolg überhaupt verwenden ließ. Bedingt wird dieses dadurch, daß die relativen Abweichungen von den Mittelwerten mit zunehmender Anzahl der an einem Vorgang beteiligten Elementareinheiten abnehmen. Die Ausstrahlung des einzelnen Atoms erfolgt bekanntlich nach der Quantentheorie in einer nicht näher determinierbaren Richtung; die Ausstrahlung einer größeren Anzahl von Atomen mittelt sich zur Kugelsymmetrie, bei welcher keine Richtung bevorzugt wird. Die typische quantenmechanische Indeterminiertheit verschwindet also („korrespondenzmäßig") mit wachsender Partikelzahl. Genau in der gleichen Weise verhält es sich eigentlich mit allen anderen quantenmechanischen Indeterminiertheiten. Sie treten nur in Erscheinung, wenn man die Betrachtung auf einige wenige Elementareinheiten beschränkt.

Auch für die klassisch-thermodynamischen Schwankungen gilt etwas Ähnliches. Die Reaktionskinetik der Chemie und die physikalische Chemie lassen sich weitgehend ohne Berücksichtigung dieser Phänomene verstehen, und nur in Fällen besonderer Art, die analog sind den Anordnungen zur Beobachtung der Brownschen Molekularbewegung, treten die Schwankungserscheinungen der klassischen Thermodynamik überhaupt in Erscheinung. Auch hier sind die Abweichungen vom Mittelwert, eine genügende Anzahl von beteiligten Elementareinheiten vorausgesetzt, verhältnismäßig sehr klein.

Wir haben oben gesagt, daß die Zahl der bei einem Versuch zur Verfügung stehenden biologischen Elementareinheiten immer als verhältnismäßig klein anzusehen ist. Wir können das nunmehr, auf Grund des soeben Gesagten, etwas näher ausführen. Man kann mit gutem Recht diese Zahlen als klein im Sinne der Statistik ansprechen. Dies ist zwar keine grundsätzlich neue, aber sozusagen eine methodologische Unbestimmtheit, die als Folge der physikalischen Unbestimmtheiten sich in der Biologie stark bemerkbar macht. Es muß betont werden, daß erst die Gültigkeit von Wahrscheinlichkeitsgesetzen, wie sie die Physik aus den beiden oben angeführten Grün-

den vorschreibt, die besondere Unbestimmtheit in der Biologie zutage treten läßt. Würde die physikalische Beschreibung unter allen Umständen eine streng kausale sein, so würde auch in der Biologie eine zusätzliche Unbestimmtheit nicht auftreten. Besonders auffällig werden die Resultate, wenn das Produkt aus der Anzahl der beteiligten Elementareinheiten und der Reaktionsrate kleiner als 1 ist, und eventuell noch mehrere Reaktionen in Konkurrenz stehen. Dann ist das Ergebnis eines Experiments auch nicht mehr mit Wahrscheinlichkeit vorausberechenbar, sondern im besten Sinne zufällig. Dieses ist z. B. sicher der Fall bei den in der Natur vorkommenden „spontanen" Mutationen; es ist wirklich als zufällig anzusehen, welches von den unter gleichen Bedingungen stehenden Individuen die Mutation zeigt und damit die Kette der mit abweichenden Eigenschaften ausgestatteten Nachkommen startet. Man kann sagen, daß mit dieser Feststellung das gesamte elementare Evolutionsmaterial im physikalischen Sinne zumindest als vollständig indeterminiert und zufällig geliefert anzusehen ist. Dies gilt sowohl im Hinblick auf die klassische wie auf die quantentheoretische Indeterminiertheit, denn die Überlegungen besagen im wesentlichen, daß die Biologie häufig infolge eines Mangels an hinreichend großen Individuenzahlen statistische Gesetzmäßigkeiten überhaupt nicht anwenden kann; damit entfällt (häufig, nicht immer) das Interesse an statistischen Aussagen überhaupt.

Diese Situation erscheint merkwürdig; sie ist es aber nicht so sehr, wenn man daran denkt, daß auch die Physik in einer vollkommen ähnlichen Lage ist, wenn die Fragestellung auf das Schicksal einzelner Atome bei irgend welchen äußeren Einwirkungen gerichtet wird. Auch hier sind die Resultate der Versuche prinzipiell zufällig, da bei genügend kleiner Zahl der Versuchsobjekte eine Statistik, die zur Nachprüfung der Wahrscheinlichkeitsgesetze angestellt werden müßte, gar nicht ausgeführt werden kann. Nur ist es praktisch in der Physik in den allermeisten Fällen so, daß man sehr viele identische Objekte gleichzeitig oder nacheinander untersucht. Es ist aber anzunehmen, daß in gewissen Fällen der physikalisch-chemischen Reaktionskinetik ähnliche Schwierigkeiten auftreten werden wie in der Biologie; man denke nur an Reaktionen in hochverdünnten Gasen, oder solche an hochkomplexen Eiweißmolekülen.

Grundsätzlich bleibt natürlich die Frage bedeutungsvoll, ob und wann sich typisch-quantenmechanische Indeterminiertheiten neben den klassisch-thermodynamischen bemerkbar machen können.

Hierzu kann man kurz folgendes feststellen: Es wird wohl meistens die Indeterminiertheit eine klassisch-thermodynamische und keine quantenmechanische sein, wenn die betrachtete biologische Elementareinheit nicht gleichzeitig eine solche im Sinne der Physik ist. Beispielsweise, wenn es sich um eine Zelle, einen Zellkern, oder dergleichen handelt; etwa um eine durch Temperaturerhöhung hervorgerufene Veränderung oder Tötung dieser Gebilde. Aber auch wenn die biologische Elementareinheit eine solche im Sinne der Physik ist, wie etwa das Gen, kann unter geeigneten Umständen die klassisch-thermodynamische Indeterminiertheit neben die quantenmechanische treten, manchmal sie sogar überdecken.

Betrachten wir zur Veranschaulichung des oben Gesagten eine chemische Reaktion, deren Ablauf dem ARRHENIUS-VAN T'HOFFschen Gesetz gehorcht, deren Reaktionsrate pro Zeiteinheit also temperaturabhängig ist. Die Reaktionsrate wird hierbei durch die thermodynamisch-statistische Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Aktivierungsenergie der Reaktion und durch die der Quantenmechanik zu entnehmenden Übergangswahrscheinlichkeiten oder Stoßquerschnitte in gleicher Weise bestimmt. Man muß hierbei wohl zwei Fälle unterscheiden, die anschaulich leicht zu verstehen sind. Ist die Aktivierungsenergie im Verhältnis zur Temperatur klein, so wird eine ausreichende Energie zur Veranlassung der Reaktion häufig auftreten. Es ist dann lediglich von den Übergangswahrscheinlichkeiten abhängig, wie häufig sie tatsächlich passiert. Dieser Fall wird also ganz eindeutig durch die quantenmechanischen Übergangswahrscheinlichkeiten beherrscht und unterliegt deshalb der quantenmechanischen Indeterminiertheit. Ist hingegen die Aktivierungsenergie in ihrem Verhältnis zur Temperatur sehr groß, so wird diese nur äußerst selten erreicht; sind gleichzeitig die Übergangswahrscheinlichkeiten groß, so kann man wohl annehmen, daß die Reaktion jedesmal, wenn die Aktivierungsenergie dargeboten wird, auch wirklich eintritt. In diesem Falle ist also der Einfluß der thermodynamisch-statistischen Indeterminiertheit sicher überwiegend, trotzdem die einzelne Reaktion ein Elementarvorgang im Sinne der Quantentheorie bleibt. Diese letztere Möglichkeit liegt wohl, nach allen bisherigen Feststellungen, bei den spontanen Mutationen vor.

Die Verhältnisse in den biologischen Elementareinheiten lassen hier einen weiten Spielraum der Möglichkeiten zu. Auf der einen Seite gibt es Reaktionen, die offenbar als Folge von Schwankungserscheinungen im thermischen Gleichgewicht zwischen der biologischen Einheit und ihrer Umgebung erfolgen. Hier werden die klassisch-thermodynamischen Unbestimmtheiten die quantenmechanischen sicher überdecken. Auf der anderen Seite gibt es Vorgänge, bei denen die Zahl der in Wechselwirkung stehenden Partikel als klein anzusehen ist, z. B. wenn es sich um eine Wechselwirkung zwischen irgendeiner Strahlung geringer Strahlungsdichte, etwa Alpha-, Beta-, Gamma-Strahlung oder Neutronen, mit den Elementareinheiten handelt; auch die Aus-

wirkung von Wirkstoffen und Giften kann unter diese Bedingungen, zumindest in einigen Fällen, gerechnet werden. Hier sind typisch quantenmechanische Unbestimmtheiten durchaus zu erwarten; und es ist dabei belanglos, ob man die „Ursache" der quantenmechanischen Unbestimmtheit in den biologischen Elementareinheiten selbst oder außerhalb, in den beeinflussenden Faktoren (in diesem Falle Strahlungen bzw. Bewegungen einzelner Moleküle) sieht, da es sich doch beim betrachteten Endphänomen um eine Wechselwirkung beider handelt.

5. An dieser Stelle kehren wir zur Besprechung des eingangs erwähnten *Verstärkereffektes* zurück. An sich ist, wie von verschiedenen Seiten hervorgehoben und kürzlich noch einmal ausdrücklich von BÜNNING betont worden ist, eine Verstärkerwirkung in der Biologie, wenn auch vielleicht nicht gerade unter dieser Bezeichnung, eine bekannte Erscheinung. Es ist auch außer Zweifel, daß dieser triviale biologische Verstärkermechanismus an sich vollauf und befriedigend klassisch-kausal beschrieben werden kann, etwa in derselben Näherung wie ein Hochfrequenzverstärker. Natürlich sind Schwankungserscheinungen in jedem Falle vorhanden und führen zu gewissen Indeterminiertheiten („Verstärkerrauschen")[1]. Allein sie haben im allgemeinen keine weitergehende Bedeutung als in der Radiotelegraphie.

Es ist aber die große Frage, ob die Berücksichtigung der Erkenntnisse der Quantentheorie nicht neue Gesichtspunke in Kombination mit der alten Verstärkerauffassung ergeben könnte. JORDAN vertritt die Meinung, daß, falls das biologische Elementarereignis auch im physikalischen Sinne ein solches ist, und damit den quantenmechanischen Indeterminiertheiten gehorcht, diese durch die Verstärkerwirkung zu makrophysikalisch beobachtbaren Indeterminiertheiten werden. Zweifellos ist diese Überlegung von JORDAN richtig. Wenn beispielsweise eine Mutation durch Einwirkung eines Phenolmoleküls oder eines Neutrons gestartet wird, dann tritt ein makrophysikalisches Ereignis als Effekt der Verstärkerwirkung auf, welches in seinem Eintreten grundsätzlich wegen der quantenmechanischen Unbestimmtheit des Primärereignisses nicht vorausberechenbar ist. Wenn man mehrere gleiche Individuen mit Gamma-Quanten bestrahlt, so kann man grundsätzlich nicht voraussagen, welches von den Individuen eine bestimmte Mutation aufweisen wird; es ist vielmehr wirklich reiner Zufall. An dieser Überlegung wird man mit keinen Argumenten etwas ändern können. Es macht auch nichts aus, daß nach einmal erfolgter Absorption bzw. Vergiftung (Primärereignis) alles weitere streng kausal sich entwickelt; dies ändert nichts an der Tatsache, daß für das Eintreten des Ereignisses überhaupt keine festen Angaben gemacht werden können.

Die JORDANschen Überlegungen können, wie ebenfalls eingangs schon kurz erwähnt wurde, in zweierlei Weise bedeutungsvoll sein. Einmal kann der Primärvorgang eine physiologische Veränderung des biologischen Individuums hervorrufen, zu der man auch Sterilität und Tod zählen muß (ontogenetische Auswirkung). Auf der anderen Seite könnten aber solche, wenigstens in merklicher Ausprägung, auch fehlen, hingegen jedoch z. B. Genmutationen auftreten, die als Endeffekt eine Kette von Individuen mit makrophysikalisch abgeänderten Merkmalen zur Folge haben würden (phylogenetische Auswirkung). Zweifellos ist so etwas denkbar, und man könnte geneigt sein, auch das Auftreten spontaner Mutationen, und damit die der gesamten Evolution zugrunde liegende Variabilität der Lebewesen, auf solche quantenmechanisch unbestimmten Vorgänge zurückzuführen. Dazu glauben wir folgendes sagen zu können:

Es ist in der Tat so, daß viele, wenn nicht die meisten, in der Natur ablaufenden Vorgänge die typisch quantenmechanischen Unbestimmtheiten in den Fällen nicht zeigen werden, wenn sie im thermischen Gleichgewicht oder in einem davon nicht sehr entfernten Zustand sich abspielen. Auch mit den spontanen Mutationen steht es ja so, daß, wie verschiedene Abschätzungen und Versuche gezeigt haben, ihr Zustandekommen nicht etwa durch Höhenstrahlung oder andere im Sinne der Quantenmechanik als Einzelprozesse anzusehenden Dinge ausgelöst wird; es dürfte nur ungefähr jede tausendste spontane Mutation auf die „natürliche ionisierende Strahlung" zurückgeführt werden. Die Rate der spontanen Mutabilität besitzt außerdem zweifellos eine Temperaturabhängigkeit, welche dafür spricht, daß es sich hier um eine durch die thermische Schwankungserscheinung ausgelöste Mutationsform handelt. Es liegt auch in diesem Falle sicher eine Indeterminiertheit vor; sie ist aber nicht unbedingt die typische der Quantentheorie, da, wie wir oben kurz besprochen haben (siehe S. 320), eine gewisse Überlagerung durch die thermodynamisch-statistische Indeterminiertheit eintreten kann. Gerade im Falle der spontanen Mutationen ist ja anscheinend die Aktivierungsenergie im Verhältnis zur Temperatur groß. Andererseits kann man wohl annehmen, daß die Wirkungsquerschnitte für die Anregung bzw. sonstige Veränderungen durch Stöße, welche die eigentliche Mutation bewirken, nicht abnorm klein sind; wenigstens kann man dafür keinen besonderen Grund angeben. Dann ist aber die Häufigkeit des Zustandekommens der spontanen Mutationen sehr stark mitbestimmt durch die statistisch-thermodynamische Häufigkeit des Auftretens der Aktivierungsenergie, und ein entsprechender Einfluß ist der klassisch-thermodynamischen Indeterminiertheit einzuräumen.

[1] Vgl. P. JORDAN, „Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens", Braunschweig 1941.

Nun ist aber die Häufigkeit, die Reaktionsrate, der spontanen Mutationen vielleicht gar nicht das biologisch so sehr Entscheidende; vielmehr ist es die Qualität der tatsächlich zustande kommenden Mutationen. Diese hängt aber wiederum davon ab, wie groß die Aktivierungsenergien für die konkurrierenden Prozesse und ihre Wirkungsquerschnitte sind, d. h. also von typisch quantenmechanischen Größen. Insofern bleibt wiederum auch das spontane Mutieren doch auch der quantenmechanischen Indeterminiertheit unterworfen.

Man hat hier, und ähnlich auch wohl in vielen anderen biologischen Vorgängen in der Natur, einen ausgesprochenen Mischfall vor sich, bei dem die thermischen Schwankungen durch gelegentliche Herstellung des günstigsten Falles, und ein quantenmechanischer Reaktionsmechanismus zusammenwirken, um das ins Auge gefaßte Ereignis hervorzubringen. Methodologisch halten wir es für zweckmäßig, darauf hinzuweisen, daß, neben Fällen der reinen quantenmechanischen bzw. klassisch-thermodynamischen Indeterminiertheiten, auch solche Mischfälle in der Biologie vorkommen müssen.

6. Wir sind der Ansicht, daß die typischen quantenphysikalischen Gesetze sich in der Biologie noch an einem ganz anderen Punkte manifestieren; es ist dies *die Stabilität der biologischen Elementareinheiten.*

Damit meinen wir folgendes: Wird eine biologische Elementareinheit, etwa ein Gen, einem äußeren Eingriff, welcher in irgendeiner Form der Energiezufuhr besteht, unterworfen, so tritt als Folge dieses Eingriffes eine Modifikation seiner Struktur auf. Und zwar hat es den Anschein, daß diese Veränderung vom physikalischen Standpunkte aus gesehen im Übergang einer wohldefinierten Molekülstruktur in eine andere, ebenfalls wohldefinierte, besteht; in biologischer Hinsicht hingegen darin, daß eine Eigenschaft durch eine andere, von ihr aber verhältnismäßig sehr gut abgesetzte, abgelöst wird. Die Zahl der Allele eines Gens ist ja bekanntlich manchmal recht groß, aber durchaus endlich. Es hat nicht den Anschein, als ob bei dem Mutieren eine kontinuierliche Variabilität der Formen auftritt; oder, vielleicht etwas vorsichtiger gesagt, die Beobachtungen würden einer Arbeitshypothese nicht widersprechen, die behauptet, daß es nur eine diskrete Anzahl von wohlunterschiedenen Merkmalen gibt. Dieser Umstand legt die Vermutung nahe, daß den einzelnen Allelen ganz bestimmte Zustände der die biologischen Einheiten in physikalischem Sinne repräsentierenden Riesenmoleküle zugrunde liegen. Gestützt wird das durch die Feststellung, daß die Temperaturabhängigkeit der spontanen Mutationsrate der ARRHENIUS-VAN T'HOFFschen Regel gehorcht, es sich also bei den Mutationen um Übergänge zwischen definierten Quantenzuständen handeln muß. Es erscheinen damit auch noch weitere bemerkenswerte Konsequenzen plausibel. Nämlich, daß einer diskreten Anzahl von Molekülzuständen eine diskrete Anzahl von wohlabgegrenzten Erbanlagen entspricht. Da offenbar nur endlich viele stabile Umlagerungen in einem Riesenmolekül aus endlich vielen Atomen möglich sind, sollte es nur endlich viele Allele geben; es scheint sogar, daß es praktisch nur verhältnismäßig wenige gibt. Die oft beobachtbare kontinuierliche Variabilität einiger Merkmale ist somit lediglich als Folge von Umwelteinflüssen während der Entwicklung, also als nicht erblich und nur akzessorisch aufzufassen; auch von diesem Standpunkte ist somit der grundsätzliche Unterschied zwischen erblichen Mutationen und nichterblichen Modifikationen durchaus verständlich. Dieses ist um so bemerkenswerter, als damit, trotz der praktisch vorhandenen, eingangs erwähnten historischen Einmaligkeit der biologischen Objekte (bedingt durch relativ geringe Individuenzahlen im Vergleich zur Mannigfaltigkeit der Kombinationsmöglichkeiten der Elementareinheiten), diese im Grunde doch in ihrer Substanz sich wesentlich mehr den physikalischen Objekten annähern würden, als man gemeinhin anzunehmen geneigt ist. Vielleicht ist es gerade dieser Umstand, der den Versuch, eine quantitative Biophysik zu schaffen, nicht von vornherein zum Scheitern gebracht hat. Man kommt hierdurch zu einer direkten Parallele zu den Quantenzuständen eines Atoms und damit schlechthin zur gesamten Chemie. Das eben Gesagte zeigt, daß es eigentlich für die Quantentheorie keine drastischere Demonstration gibt, als eben die Existenz der diskreten Sippen in der Tier- und Pflanzenwelt.

Wenn man versucht, diesen Sachverhalt mit dem Begriff der biologischen Pluralität in Verbindung zu bringen, so kann man vorsichtig folgende Feststellung machen: Das, was sich als duale Begriffe in der Biologie abzuzeichnen beginnt, ist einmal die historische Einmaligkeit und das andere Mal die nicht individuelle Identität. Die letztere ermöglicht uns, mit den Begriffen der Physik und Chemie tief in die physiologischen Vorgänge des Lebens einzudringen; während die historische Einmaligkeit ein Begriff zur Veranschaulichung der Gesamtgestaltung der Lebensvorgänge selbst ist. Beide Begriffe sind keine Gegensätze, sondern beschreiben erst gemeinsam einen biologischen Tatbestand, und müssen daher in dem gleichen Sinne als zueinander komplementär angesehen werden, wie die Begriffe Korpuskel und Welle in der Quantenphysik. Die Beschreibung der physikalischen Vorgänge mit nur einem dieser beiden Begriffe ist notwendig unvollständig; ebenso unvollständig ist es, wenn man biologische Einheiten nur als historisch einmalig oder nur als nicht individuelle identische Größen ansieht.

Wie wir oben sahen, ist die Stabilität der biologischen Sippen ein unmittelbares Abbild des Wirkens quantenhafter Kräfte. Etwas Ähnliches leistet

die klassische Physik offenbar nicht; denn sie war ja auch nicht imstande, die entsprechenden Phänomene in der Chemie zu deuten. Beispielsweise ist die Existenz definierter Valenzen erst durch die Auffindung der absättigbaren Kräfte in der Quantenphysik gedeutet worden. Es scheint also so zu sein, daß die Einwirkung der Quantentheorie auf die Biologie in ähnlicher Weise erfolgt wie in der Chemie, nämlich, daß sie einen gewissen diskreten Charakter makrophysikalischer Art in der Fülle der Kombinationen der Elementarbestandteile gewährleistet und damit eigentlich für die Existenz abgrenzbarer Variationen und deren relativ hohe Stabilität Sorge trägt.

7. Wir wollen jetzt noch einmal kurz einiges *zusammenfassen*, was vorhin über die Bedeutung der quantenphysikalischen Begriffe für die Biologie auseinandergesetzt wurde.

Zunächst muß die Eigentümlichkeit des biologischen Materials betont werden. Die biologischen Objekte sind uns unmittelbar in Form von komplexen, hierarchisch-architektonisch aufgebauten, historisch einmaligen Dingen, den Individuen, gegeben. Charakteristisch für biologische Individuen ist die Komplexität und zeitliche Abgestimmtheit der in ihnen ablaufenden Reaktionen. Ferner haben die biologischen Individuen eine beschränkte Lebensdauer. Schließlich ist die Zahl der biologischen Objekte, im Vergleich zu der der Physik, nicht groß; und die der in bezug auch auf wenige Eigenschaften vergleichbaren sogar als sehr klein zu bezeichnen.

Die biologischen Elementareinheiten, an die die grundsätzlich wichtigen Eigenschaften der biologischen Objekte gebunden sind, zeigen ebenfalls gewisse Eigentümlichkeiten. Sie sind im Vergleich zu den Elementareinheiten der Physik als sehr groß zu bezeichnen; es handelt sich wohl meistens um organische Riesenmoleküle bzw. Mizellen. Sie haben grundsätzlich die Eigenschaft, sich konvariant zu reproduzieren oder ebenfalls konvariant bzw. in einer bestimmten Form von den sie enthaltenden architektonischen Einheiten (z. B. Zellen) reproduziert zu werden. Sie unterliegen ferner diskreten Variationen (z. B. Mutationen der Gene). Wegen der für das biologische Material typischen Fortpflanzungserscheinung können die Änderungen der biologischen Elementareinheiten sich nicht nur im Rahmen des sie enthaltenden Individuums auswirken, sondern auch zum Ausgang einer Kette von veränderten Nachkommen-Individuen werden. Man muß also in der Biologie das ontogenetische und das phylogenetische Niveau unterscheiden.

In der Mikrophysik gilt die auf komplementären Eigenschaften der atomaren Gebilde beruhende Dualität der Phänomene. Für das biologische Material muß, da neben der physikalischen auch eine eigene biologische Komplementarität auftritt, eine Pluralität der Elementarphänomene angenommen werden.

In der Physik konnten wir zweierlei Indeterminiertheiten feststellen. Einmal handelt es sich um die grundsätzliche quantentheoretische Indeterminiertheit, die letzten Endes auf der grundsätzlichen Dualität der physikalischen Elementarphänomene beruht; andererseits ist es die klassisch-statistische Indeterminiertheit, die auf die statistischen Gesetzmäßigkeiten der Thermodynamik zurückgeführt werden kann und die wir als gutes Modell z. B. in der BROWNschen Bewegung vor uns haben.

In der Biologie sind die Verhältnisse, entsprechend den Eigentümlichkeiten des biologischen Materials, etwas komplizierter. Soweit es sich um physikalische Analysen an biologischen Objekten handelt, müssen selbstverständlich auch in der Biologie die beiden Fälle der physikalischen Indeterminiertheiten, sowie deren Mischfälle, mit eingeschlossen sein. Wegen der dem biologischen Material eigentümlichen Pluralität der Elementarphänomene muß es eine der quantentheoretischen methodologisch äquivalente biologische Indeterminiertheit geben; diese spielt aber, falls man sich auf die Analyse der physikalischen und chemischen Tatbestände am biologischen Material beschränkt, praktisch keine Rolle. Schließlich ist am biologischen Material eine besondere Bedeutung der Indeterminiertheit zuzuschreiben, die man als methodologisch äquivalent der klassisch-statistischen Indeterminiertheit in der Physik bezeichnen kann. Sie beruht darauf, daß wir es bei allen Änderungen an biologischen Elementareinheiten mit so geringen Zahlen identischer Einzelgebilde zu tun haben, daß statistische Gesetzmäßigkeiten auch nicht im entferntesten Anwendung finden könnten. Die Indeterminiertheit kann wiederum sowohl das ontogenetische als auch das phylogenetische Niveau der biologischen Vorgänge betreffen.

Verstärkereffekte scheinen im biologischen Geschehen sehr verbreitet zu sein, falls man sie ganz allgemein so definiert, daß es sich um Primärvorgänge (zum Teil mikrophysikalischer Natur) an Elementareinheiten handelt, die zu makrophysikalischen, sich deutlich abhebenden Endeffekten führen. Dieses ist auch durchaus plausibel, wenn man bedenkt, daß für das biologische Material das Wachstum, die individuelle Entwicklung und Differenzierung, die Vermehrung und die daran gebundene Phylogenese charakteristisch sind. Auch die Verstärkerphänomene können sich sowohl im ontogenetischen als auch im phylogenetischen Niveau abspielen.

Wir sind der Meinung, daß man zwar über die Verbreitung und relative Bedeutung der „echten" quantenmechanischen Indeterminiertheit und der auf quantenphysikalischen Primärvorgängen beruhenden Verstärkereffekte in der

Biologie sich, mangels exakter Grundlagen, noch streiten kann; es muß aber das grundsätzliche Vorhandensein mehrerer Formen der Indeterminiertheit und der Verstärkereffekte in der Biologie angenommen werden. Und vor allem darf die besonders große Bedeutung der biologischen Indeterminiertheit und des biologischen Verstärkereffektes im phylogenetischen Niveau nicht übersehen werden.

Literatur.

J. ALEXANDER u. C. B. BRIDGES, Some physicochemical aspects of life, mutation and evolution. Colloid Chem. 2 (1928). — N. BOHR, Atomtheorie und Naturbeschreibung. Berlin 1931. — Licht und Leben. Naturwiss. 21 (1933). — E. BÜNNING, Quantenmechanik und Biologie. Naturwiss. 31 (1943). — C. DARLINGTON, Recent advances in cytology. London 1937. — W. HEISENBERG, Physikalische Prinzipien der Quantenmechanik. Leipzig 1934. — Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft. Drei Vorträge. Leipzig 1936. — P. JORDAN, Anschauliche Quantentheorie. Berlin 1936. — Die Physik des 20. Jahrhunderts. Braunschweig 1936. — Die Verstärkertheorie der Organismen in ihrem gegenwärtigen Stand. Naturwiss. 26 (1938). — Zur Quantenbiologie. Biolog. Zentrbl. 59 (1939). — Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens. Braunschweig 1941. — N. K. KOLTZOFF, Physikalisch-chemische Grundlage der Morphologie. Biolog. Zentrbl. 48 (1928). — Physiologie du développement et génétique. Paris 1935. — Les molécules héréditaires. Paris 1939. — H. J. MULLER, The gene as the basis of life. Proc. 4 Congr. Plant Sci. Ithaca 1 (1929). — The need of physics in the attack on the fundamental problems of genetics. Sci. Monthly 44 (1936). — The biological effects of radiation with especial reference to mutation. Réun. Int. Phys. Chim. Biol. Paris 1937. — N. RIEHL, N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. K. G. ZIMMER, Mechanismus der Wirkung ionisierender Strahlen auf biologische Elementareinheiten. Naturwiss. 29 (1941). — W. J. SCHMIDT, Der molekulare Bau der Zelle. Nova Acta Leopoldina. Halle 1939. — W. M. STANLEY, The reproduction of virus proteins. Amer. Nat. 72 (1938). — N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Experimentelle Mutationsforschung in der Vererbungslehre. Dresden und Leipzig 1937. — Le mécanisme des mutations et la structure du géne. Paris 1939. — Eine biophysikalische Analyse des Mutationsvorganges. Nova Acta Leopoldina, Halle 1940. — N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, K. G. ZIMMER u. M. DELBRÜCK, Über die Natur der Genmutation und der Genstruktur. Nachr. Ges. Wissensch. Göttingen, Biol N. F. 1, Nr. 13 (1935).

Die Chemie der orientierten Verwachsung von Kristallen organischer Verbindungen.

Von J. WILLEMS, Krefeld.

1. Bringt man Anthracen aus einer Lösung in Ligroin auf (001) von Chloranil (IV) zur Kristallisation, so scheiden sich die Anthracenkriställchen orientiert auf dieser Fläche ab (Fig. 1), während bekanntlich auf beliebigen Unterlagen

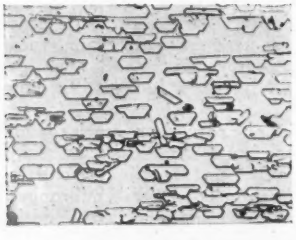


Fig. 1. Orientierte Aufwachsung von Anthracen auf (001) von Chloranil (Vergr. 100mal).

die Abscheidung von Kristallen im allgemeinen vollkommen regellos erfolgt.

Die Erscheinung der orientierten Verwachsung von Kristallen ist aus dem Mineralreich seit langem bekannt. O. MÜGGE (1) konnte 1903 in einer zusammenfassenden Arbeit über mehr als 70 Beispiele von orientiert verwachsenen Mineralien berichten. Inzwischen ist noch eine stattliche Zahl weiterer Verwachsungen dieser Art bekanntgeworden. Bereits frühzeitig wurden zur Aufklärung dieser Erscheinung Versuche unternommen, derartige Verwachsungen künstlich durch Kristallisation von Lösungen verschiedener Salze auf Mineralien zu erzeugen. So wurde 1835 durch L. FRANKENHEIM (2) an dem Beispiel KJ-Glimmer die künstliche orientierte Verwachsung entdeckt. Die erste systematische Untersuchung über künstliche Verwachsung von Kristallen wurde 1908 von TH. V. BARKER (3) auf Anregung von H. A. MIERS durchgeführt.

Die Entwicklung einer allgemeinen Theorie der orientierten Verwachsung wurde aber erst durch die Ergebnisse der röntgenographischen Kristallstrukturforschung ermöglicht. Auf dieser Grundlage wurde das Problem 1928 von L. ROYER (4) aufgegriffen. ROYER, der für die Erscheinung der orientierten Verwachsung verschiedenartiger Kristalle den Ausdruck „Epitaxie" (von ἐπί = auf, τάξις = Anordnung) geprägt hat, trug bei diesen grundlegenden Untersuchungen unter Anknüpfung an die Ergebnisse von BARKER umfangreiches Material über die orientierten Verwachsungen von künstlichen Kristallarten, namentlich von Kristallen mit Ionengittern, zusammen. Er kam dabei zu dem Ergebnis, daß eine orientierte Verwachsung von verschiedenartigen Kristallen nur dann stattfinden kann, wenn die Aufwachsungsfläche des Wirtskristalls eine Strukturnetzebene besitzt, die mindestens einer Strukturnetzebene des Gast-

kristalls in der Form und den Abmessungen der Netzmaschen innerhalb gewisser Toleranzgrenzen ähnlich gebaut ist. Nach unserer heutigen Kenntnis beträgt die Toleranz bei Ionengittern bis zu etwa 30%. Das Wesen dieser formalgeometrischen Bedingung dürfte aus den in Fig. 2 dargestellten Strukturverhältnissen der Verwachsungsebenen von α-Hydrochinon und Calcit (5) ohne weiteres hervorgehen. Während im einfachsten Fall die einzelnen Netzmaschen der Verwachsungs-Strukturnetzebenen einander ähnlich sind, entspricht im Falle α-Hydrochinon-Calcit eine Netzmasche von (10$\bar{1}$0) des α-Hydrochinons fünf Netzmaschen von (100) des Calcits. Die Toleranz beträgt hier in der einen Richtung 9,5%, in der anderen 12,9%. Das Beispiel der orientierten Verwachsung von Anthrachinon mit NaCl (Fig. 3 und Fig. 6—7) zeigt, daß eine orientierte Verwachsung auch bereits bei ganz zufälliger Ähnlichkeit zweier Netzebenen auftreten kann. Neuerdings sind zahlreiche Fälle bekannt geworden, in denen nur eindimensionale Ähnlichkeit zwischen den verwachsenen Ebenen vorliegt (6), (7), (8). H. SEIFERT (9) kommt in den letzten Jahren auf Grund seiner dynamischen Theorie der orientierten Verwachsung zu dem Ergebnis, daß zur Entstehung einer derartigen Verwachsung grundsätzlich an Stelle einer „zweidimensionalen Strukturanalogie" bereits eine „eindimensionale" genügt.

Bei der Einbeziehung von anderen Gittern als Ionengittern in seine Untersuchungen fand ROYER eine Reihe von Fällen, in denen Gitter verschiedener Bindungsart trotz des Vorliegens der oben erwähnten formalgeometrischen Voraussetzung nicht zur orientierten Verwachsung zu bringen waren. So gelang es z. B. weder KJ auf Diamant, noch Hexamethylentetramin auf Glimmer oder KJ zur regelmäßigen Verwachsung zu bringen, obgleich die geometrischen Bedingungen vorliegen. ROYER hielt es auf Grund dieser Ergebnisse für wahrscheinlich, daß nur Gitter gleicher Bindungsart derart zu verwachsen vermögen.

Dieses Problem wurde 1933 von ROYER (10) in der ersten systematischen Untersuchung über die orientierte Verwachsung organischer Verbindungen wieder aufgegriffen. Hierbei ergab sich, daß zwar β-Hydrochinon mit Calcit und Natriumnitrat sowie Thioharnstoff mit Zinkblende orientiert verwachsen, daß hingegen z. B. Naphthalin, Fluoren, Anthracen, Phenanthren und Kampfer auf Natriumchlorid, Kaliumchlorid, Zinkblende, Flußspat, Bleiglanz und Calcit sich immer unorientiert abscheiden, „selbst in den Fällen, in denen die geometrischen Bedingungen derart sind, daß man eine orientierte Ausscheidung erwarten sollte". Bei der Deutung dieser Ergebnisse geht ROYER davon aus, daß diejenigen organischen Verbindungen, die „in Lösung Ionen zu bilden vermögen", in festem Zustand ein Radikalionengitter aufweisen, im Gegensatz zum Molekülgitter der obigen organischen Verbindungen. Als Beispiele für Verbindungen der ersten Art nennt ROYER Hydrochinon und Thioharnstoff, als Beispiele der zweiten Art die oben genannten aromatischen Kohlenwasserstoffe. ROYER kommt so zu

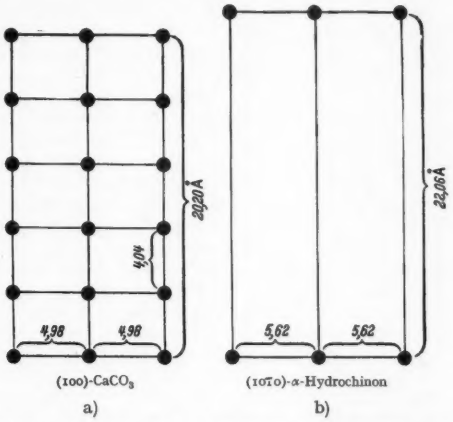


Fig. 2. Deutung der orientierten Aufwachsung von α-Hydrochinon auf (100) von Calcit mittels der Struktur von a) (100) von Calcit, b) (10$\bar{1}$0) von α-Hydrochinon.

dem Ergebnis, daß *nur organische Verbindungen mit Radikalionengitter* im Gegensatz zu solchen mit Molekülgitter *orientiert zu verwachsen vermögen*. In einem Nachwort zur vorerwähnten Arbeit faßt G. FRIEDEL das Ergebnis dahin zu-

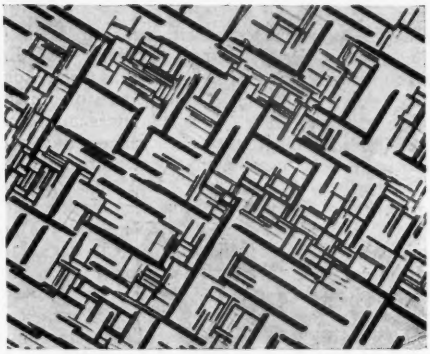


Fig. 3. Orientierte Aufwachsung von Anthrachinon auf (100) von NaCl (Vergr. 420mal).

sammen, daß eine *orientierte Vewachsung* zweier Kristallarten *nur* dann einzutreten vermag, *wenn beide Partner Ionenbindung aufweisen*. G. FRIEDEL sieht danach im Verwachsungsversuch geradezu ein Mittel, um die Existenz von Ionenbindungen in Kristallen festzustellen.

Hierhin gehören auch Untersuchungen von C. A. SLOAT und A. W. C. MENZIES (11), die fanden, daß Naphthalin, Chinon und p-Dichlorbenzol mit einer Reihe anorganischer Trägergitter trotz des Vorliegens der formalgeometrischen Bedingungen nicht zur orientierten Verwachsung zu bringen sind. Die genannten Autoren betonen, daß die erwähnten organischen Verbindungen „kovalenter" Natur sind.

In einer Kritik der Ansichten von ROYER und FRIEDEL über die Bedeutung der Bindungsart für die Entstehung von orientierten Verwachsungen betont SEIFERT, 1936 (12), daß man weder dem Hydrochinon und dem Thioharnstoff ein Radikalionengitter noch der Zinkblende ein Ionengitter zubilligen werde, daß hingegen für die beiden organischen Stoffe eine Anheftung an kristallinen Grenzflächen durch Dipolbindung möglich sei. Auf die Eignung des Verwachsungsversuches zur Festlegung des Bindungscharakters einer Kristallstruktur weist SEIFERT nochmals besonders hin.

1941 kommt A. NEUHAUS (13) bei der Sichtung des zu dem genannten Zeitpunkt vorliegenden Versuchsmaterials, das mit sehr geringen Ausnahmen nur Beispiele anorganischer Kristallarten betraf, zu dem Ergebnis, daß Trägerkristall und aufwachsende Komponente „Vertreter wohl aller Bindungstypen sein und auch wechselseitig durchaus verschiedene Bindungsart aufweisen können". *Voraussetzung für eine orientierte Verwachsung* ist aber, daß *„die Bindungsart beider Gitter genügend verwandt ist"*. NEUHAUS stellt der geometrischen Toleranz geradezu ein *„Toleranzintervall der Bindekräfte"* gegenüber. In diesem Sinne ist auch nach NEUHAUS der Verwachsungsversuch als „qualitativer Test auf die Bindungsart" anzusehen.

Die vorerwähnten Betrachtungen über die Bedeutung der Bindungsart für die Entstehung von orientierten Verwachsungen konnten sich auf dem Gebiet der organischen Verbindungen, wie bereits angedeutet, nur auf ein sehr dürftiges Versuchsmaterial stützen. Auch im letzterwähnten Zeitpunkt lagen im wesentlichen nur die von ROYER gefundenen orientierten Verwachsungen des Hydrochinons und Thioharnstoffs, von C. W. BUNN (14) ermittelte orientierte Verwachsungen des Harnstoffs mit Alkalihalogeniden sowie vom Verfasser (15), (5) beschriebene orientierte Verwachsungen einiger Phenole mit verschiedenen Mineralarten vor. Eine experimentelle Stütze für die Annahme, daß auch Verbindungen anderer Art als die letztgenannten, wie namentlich aromatische Kohlenwasserstoffe, Hexamethylentetramin usw. orientiert zu verwachsen vermögen, war nach wie vor nicht beigebracht worden.

2. *Alle vorerwähnten Versuche zielten also darauf ab, außer den formalgeometrischen Voraussetzungen für die orientierte Verwachsung noch Beziehungen zwischen den Bindungszuständen der Verwachsungspartner zu finden.*

Inzwischen war die Frage nach den für den Verwachsungsvorgang organischer Kristallarten maßgebenden Kräften vom Verfasser, 1938 (16), von der Vermutung ausgehend aufgegriffen worden, daß eine *orientierte Verwachsung ohne Rücksicht auf die Bindungsart* der verwachsenden Gitter *nur* dann eintreten kann, *wenn die Bausteine der aufwachsenden Verbindungen mit den Bausteinen des Trägerkristalls eine hinreichende chemische Beziehung der zwischen den Komponenten von Molekülverbindungen bestehenden Art einzugehen vermögen.*

Diese Betrachtungsweise knüpft an die Auffassung der Kristallisation als eines chemischen Vorganges an. Bereits 1914 vertrat F. HABER (17) die Ansicht, daß die für den Zusammenhalt und Aufbau eines Kristallgitters maßgebenden Kräfte als „chemische Valenzen" aufzufassen sind und daß diese an der Oberfläche eines Kristalls gerichtet frei in den Raum ausstrahlen. Danach ist die Ursache für das Kristallwachstum in der Absättigung derartiger Affinitäten zu suchen; J. LANGMUIR (18), (19), der die Vorstellung von HABER verfeinerte, betont, daß die Kristallisation als „typisch chemischer Vorgang" zu betrachten ist. P. PFEIFFER (20) gelang es 1915, die Grundzüge der Struktur der Ionengitter aus Überlegungen abzuleiten, die an die Konstitution der Verbindungen höherer Ordnung anknüpfen. Für die Kristalle organischer Verbindungen hat dann P. PFEIFFER (21) den Gedanken ausgesprochen, daß die „zwischen den einzelnen Molekülen wirksamen Gitterkräfte ihrem Wesen nach identisch mit denjenigen Kräften sind, die als sogenannte Nebenvalenzkräfte in den organischen Molekülverbindungen die Komponenten aneinander ketten. Auch auf die röntgenographischen Kristallgitteruntersuchungen von E. HERTEL und Schülern (22) an kristallisierten Molekülverbindungen sei hier hingewiesen.

Hält man sich vor Augen, daß die orientierte Verwachsung eines Kristalls als lokales Fortwachsen des Trägerkristalls „mit anderen Mitteln", nämlich mit den Bausteinen des Gastkristalls, aufgefaßt werden kann, so wird auf Grund der Annahme der chemischen Natur der Kristallisation *die Frage nach den für die orientierte Verwachsung derartiger Kristalle maßgebenden Kräften zu einem spezifischen Problem der Chemie der organischen Molekülverbindungen; die einzelnen Gruppen der organischen Molekülverbindungen sind danach als Modelle für die Kontaktschichten zwischen Wirts- und Gastgitter von orientierten Verwachsungen der Kristalle organischer Natur anzusehen.*

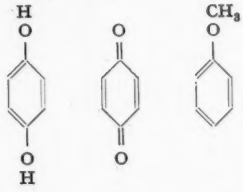
3. In den Molekülverbindungen sind bekanntlich in sich „valenzchemisch gesättigte" Moleküle nach dem Gesetz der konstanten und multiplen Proportion durch „Nebenvalenzen" miteinander vereinigt.

So entsteht, um eines der bekanntesten Beispiele zu nennen, die als Chinhydron bezeichnete

Molekülverbindung durch Addition von 1 Mol Hydrochinon (I) an 1 Mol Chinon (II).

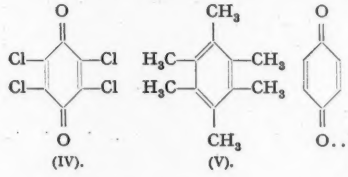
Die Fähigkeit zur Bildung von Molekülverbindungen ist an eine bestimmte Konstitution der Komponenten geknüpft. Die zur Ermittlung der konstitutiven Voraussetzungen der Bildung von Molekülverbindungen angewandte Forschungsmethode sei wegen ihrer Bedeutung für die Chemie der orientierten Verwachsungen organischer Verbindungen hier kurz in Erinnerung gebracht.

Im Falle der Molekülverbindungen vom Typus des Chinhydrons beweist z. B. die Existenz von Chinhydronen verschiedener Phenoläther (III), die ja keinen Hydroxylwasserstoff besitzen, daß ein solcher Wasserstoff in der einen Komponente nicht vorzuliegen braucht.



(I). (II). (III).

Es ist aber auch die Gegenwart von Sauerstoff nicht erforderlich, wie P. PFEIFFER (21) in seinen grundlegenden Arbeiten auf dem Chinhydrongebiet durch die Darstellung derartiger Molekülverbindungen aus Chloranil (Tetrachlor-Chinon) (IV) mit Tetramethylbenzol sowie Hexamethylbenzol (V) zeigen konnte. Das letzterwähnte Beispiel beweist fernerhin, daß auch an den aromatischen Kern gebundener Wasserstoff für die Chinhydronbildung nicht erforderlich ist. Wesentlich ist lediglich, daß der eine, „benzoide Komponente" genannte, Partner aromatischen Charakter besitzt. Für den anderen, „chinoide Komponente" genannten, Partner ist hingegen die Anwesenheit von Sauerstoff in einem für das Chinon charakteristischen Bindungssystem notwendige Voraussetzung. Danach ergibt sich also, daß in den Chinhydronen der Carbonylsauerstoff der chinoiden Komponente an die ungesättigten Kohlenstoffatome der benzoiden Komponente gebunden ist, entsprechend der Formel (VI).



(IV). (V). (VI).

Als wichtiges Ergebnis der vorstehend erläuterten Forschungsmethode ist festzuhalten, daß die „Nebenvalenzäußerung" in den Molekülverbindungen auf einzelne Atome oder Atomgruppen lokalisiert ist.

4. Wenn die oben dargelegte spezifisch chemische Betrachtungsweise des Vorgangs der orientierten Verwachsung zutreffend ist, muß es gelingen, auf Grund der Ergebnisse der Chemie der organischen Molekülverbindungen an Hand der bekannten Gruppen derartiger Verbindungen orientierte Verwachsungen organischer Verbindungen aufzubauen. Namentlich muß es möglich sein, für solche organischen Verbindungen, die bei den oben erwähnten früheren Untersuchungen nicht zur orientierten Verwachsung zu bringen waren, auf Grund der Kenntnisse der konstitutiven Voraussetzungen für die Entstehung entsprechender organischer Molekülverbindungen, Verwachsungspartner zu finden. Das gilt also insbesondere für die aromatischen Kohlenwasserstoffe, für Chinone, Hexamethyltetramin usw. Weiterhin wird man die mangelnde Fähigkeit zur Bildung von Molekülverbindungen zur Deutung negativer Ergebnisse von Verwachsungsversuchen mit formalgeometrisch hinreichend übereinstimmenden Partnern heranziehen können. Schließlich wird die in der Chemie der organischen Molekülverbindungen gebräuchliche Variationsmethode für die Ermittlung der Verknüpfungsstellen innerhalb der Moleküle von Gast- und Wirtsgitter in der Verwachsungsebene wertvolle Fingerzeige geben können.

In der Tat gelang es bald, den Kreis der orientierten Verwachsungen organischer Verbindungen, der sich bei der Aufnahme dieser Untersuchungen, wie oben bereits erwähnt wurde, im wesentlichen auf einige Vertreter der Harnstoff- und Phenolreihe beschränkte, durch zahlreiche Vertreter der verschiedensten Gruppen der organischen Verbindungen zu erweitern. Ohne weiteres konnten dabei für die bis dahin nicht zur orientierten Verwachsung zu bringenden Gruppen organischer Verbindungen erstmalig Verwachsungsbeispiele in größerer Zahl beigebracht werden. Die auf diese Weise gefundenen orientierten Verwachsungen organischer Verbindungen standen bald sowohl in der Zahl der gefundenen Einzelfälle als auch namentlich in der Zahl der daran beteiligten Verbindungsgruppen kaum noch hinter den experimentell gefundenen Verwachsungen anorganischer Partner zurück.

5. Auf die wichtigsten Gesichtspunkte, die für die Wahl der Verwachsungspartner an Hand der Ergebnisse der Chemie der organischen Molekülverbindungen von Bedeutung sind, sei hier noch kurz hingewiesen.

Liegen innerhalb der auf Grund ihrer chemischen Konstitution als Verwachsungspartner in Frage kommenden Verbindungsgruppen Vertreter von bekanntem Feinbau vor, die den oben erwähnten formalgeometrischen Bedingungen für eine orientierte Verwachsung genügen, so wird man selbstverständlich zunächst diese als Partner heranziehen.

Da es vor Aufnahme der vorliegenden Untersuchungen für wahrscheinlich gehalten wurde, daß eine orientierte Verwachsung organischer Verbindungen nur innerhalb sehr enger Toleranzgrenzen möglich sein würde (12), war die Aussicht, durch Tastversuche mit feinbaulich noch nicht aufgeklärten Partnern derartige Verwachsungen zu finden, so gering, daß sich solche Versuche grundsätzlich nicht verlohnten. An Ergebnisse von SLOAT und MENZIES (11), die die Bedeutung der Natur des Lösungsmittels für die Entstehung orientierter Verwachsungen untersuchten, anknüpfende Versuche des Verfassers (5) zeigten aber gleich zu Beginn, daß bei Anwendung von Lösungsmitteln mit extrem geringer Dielektrizitätskonstante orientierte Verwachsungen zu erzielen sind, die an Breite des Toleranzbereiches derartigen Verwachsungen anorganischer Partner kaum nachstehen. Damit erhielten auch Tastversuche mit feinbaulich noch nicht aufgeklärten Partnern innerhalb der in Frage kommenden Gruppen chemischer Verbindungen hinreichend Aussicht auf Erfolg und lieferten tatsächlich reiche Ergebnisse.

Außer den grundsätzlichen Vorbedingungen formalgeometrischer und chemischer Art sind bei der Auswahl der Verwachsungspartner auch noch die experimentellen Voraussetzungen für die Entstehung einer orientierten Verwachsung zu beachten. Hier ist zunächst von Wichtigkeit, daß die Aufwachsungsflächen der Trägerkristalle in „frischem" Zustand entweder als frische Wachstumsfläche oder als Spaltfläche zugänglich sein müssen. Durch diese Voraussetzung wird unter den in formalgeometrischer und chemischer Beziehung den Verwachsungsbedingungen genügenden Stoffen der Kreis der tatsächlich geeigneten Partner naturgemäß weiter eingeschränkt.

Das einfachste und recht häufig zum Erfolg führende Verfahren zur künstlichen Erzeugung von orientierten Verwachsungen besteht darin, daß man eine Lösung des zur orientierten Verwachsung zu bringenden Stoffes auf der Aufwachsungsfläche eindunsten oder eine heiße Lösung durch Abkühlen darauf auskristallisieren läßt.

Ein Nachteil der Verwendung von Lösungsmitteln besteht darin, daß durch Solvatationseinflüsse der Toleranzbereich außerordentlich eng werden kann (11). Weiterhin kann bei einem im angewandten Lösungsmittel löslichen Trägerkristall die Bildung einer Molekülverbindung zwischen Wirts- und Gastsubstanz stattfinden, so daß man als aufwachsendes Kristallisat die Gastsubstanz in Form dieser Molekülverbindung und nicht, wie beabsichtigt, als solche erhält. Andererseits gelingt es in derartigen Fällen häufig besonders leicht, orientierte Verwachsungen des Trägerkristalls mit der Molekülverbindung von Wirts- und Gastsubstanz zu erhalten. Die in Tabelle 1 aufgeführten orientierten Verwachsungen der Molekülverbindungen von aromatischen Verbindungen mit Hexachlornaphthochinon auf Kristallen des letztgenannten Stoffes wurden z. B. auf diese Weise unter Verwendung von Ligroin als Lösungsmittel, in dem das Chinon etwas löslich ist, erzielt.

Die Schwierigkeiten, die bei Anwendung eines Lösungsmittels durch die Solvatation sowie die etwaige Löslichkeit des Trägerkristalls auftreten, lassen sich bei sublimierbaren Verbindungen dadurch umgehen, daß man nach einem Vorschlag von SLOAT und MENZIES (11) die Gastsubstanz auf die Trägerflächen im Vakuum aufsublimiert. Falls dabei Kriställchen entstehen, deren Größe für die Untersuchung nicht hinreicht, können diese nach BUNN (14) in einer konzentrierten Lösung der Gastsubstanz zu größeren Kristallen „entwickelt" werden. BUNN erhielt so z. B. auf Alkalihalogeniden orientiert aufgewachsene Harnstoffkristalle, die zur konoskopischen Bestimmung hinreichende Dimensionen besaßen.

6. Nachstehend sind einige charakteristische Gruppen der bisher gefundenen orientierten Verwachsungen organischer Verbindungen zusammengestellt und den entsprechenden Gruppen der organischen Molekülverbindungen zugeordnet. Zu der Zahl der für diese einzelnen Gruppen von Molekülverbindungen bisher ermittelten Verwachsungsbeispiele sowie zu der besonderen Art der Verwachsungspartner sei nochmals auf die im vorherigen Abschnitt zusammenfassend erwähnten besonderen Bedingungen für die Entstehung von orientierten Verwachsungen hingewiesen. Es dürfte ohne weiteres einleuchten, daß auf Grund dieser Bedingungen der Kreis der mit einem gegebenen Partner orientiert verwachsenden organischen Verbindungen bedeutend enger ist als derjenige der entsprechenden Molekülverbindungen. Unter Umständen werden nur einzelne oder überhaupt keine der bekannten Vertreter einer Gruppe von Molekülverbindungen zur orientierten Verwachsung zu bringen sein. Schließlich ist damit auch verständlich, daß häufig nicht die Grundverbindungen einer Molekülverbindungsgruppe, wohl aber Abkömmlinge dieser Verbindung den Verwachsungsbedingungen genügen.

Soweit die Struktur der Verwachsungspartner nicht bekannt war, wurden die in der Tabelle 1 angeführten orientierten Verwachsungen durch Tastversuche innerhalb der in Frage kommenden Verbindungsgruppen ermittelt.

Eine bedeutende Anzahl dieser orientierten Verwachsungen ließ sich aber auf Grund der Kenntnis der chemischen Voraussetzungen und des Feinbaus der Partner geradezu planmäßig aufbauen. Zum erstenmal gelang ein solcher Aufbau bei den orientierten Verwachsungen des α-Hydrochinons mit Glimmer (29) und Cölestin sowie Schwerspat (31). Eine Reihe von Befunden bei Verwachsungsversuchen mit Phenolen auf Carbonaten der Kalkspatreihe (5) führte zu der Annahme, daß eine orientierte Verwachsung eines Phenols mit einem solchen Träger sich unter Aus-

bildung einer Wasserstoffbrücke zwischen dem Sauerstoff der phenolischen Hydroxylgruppe und dem Sauerstoff des CO_3-Anions vollzieht. Hierfür spricht z. B. u. a. das negative Verwachsungsergebnis mit phenolischen Verbindungen, wie z. B. Naphthazarin (VII), deren Wasserstoff bereits durch intramolekulare Affinitätsabsättigung (Scherenbindung) beansprucht und infolgedessen zur Bildung einer zwischenmolekularen Brücke nicht mehr befähigt ist.

(VII).

Auf Grund dieser erstmaligen Annahme einer Wasserstoffbrücke als Bindekraft bei orientierten Verwachsungen erschien auch eine solche Verknüpfung zwischen α-Hydrochinon und dem Sauerstoff des SO_4-Anions von Cölestin und Schwerspat sowie der SiO_4-Tetraeder von Glimmer möglich. Da außerdem die Feinstruktur der genannten Partner bekannt war, lagen damit die Voraussetzungen für einen planmäßigen Aufbau der orientierten Verwachsungen vor.

Auf Grund der Kenntnis der chemischen Voraussetzungen und der Feinstruktur ließen sich z. B. ferner planmäßig aufbauen: die orientierten

Tabelle 1.

Gruppe der Molekülverbindungen	Orientierte Verwachsungen
I. Rein organische Molekülverbindungen.	
1. Molekülverbindungen der Chinone (Chinhydrone).	Pentachlor-, Pentabromphenol, Pentachloranilin und Anthracen (Fig. 1) auf (001) von Chloranil (23). β-Naphthol, β-Naphthylamin, Benzidin, Anthracen, Phenanthren Fluoren und Pyren in Form der Molekülverbindung mit Hexachlornaphthochinon auf Hexachlornaphthochinon (24).
2. Molekülverbindungen der Nitrokörper.	Coronen[1]) auf (010) von Pikrinsäure (25).
3. Molekülverbindungen des p-Aminophenols.	Anthracen auf (100) von p-Aminophenol (26).
4. Molekülverbindungen der Phenole.	3-Oxypyren, p-Nitrophenol und Pentachlorphenol auf (100) von Harnstoff sowie Pentachlorphenol auf (010) von Dioxopiperazin (26).

Fortsetzung der Tabelle 1.

Gruppe der Molekülverbindungen	Orientierte Verwachsungen
II. Anorganisch-organische Molekülverbindungen.	
1. Molekülverbindungen der aromatischen Ketone und Chinone mit anorganischen Salzen.	Anthron, Benzanthron, 3,5,3′,5′-Tetrachlordiphenochinon, 1,4-Naphthochinon Naphthazarin, Anthrachinon (Fig. 3), Alizarin und andere Anthrachinonderivate, wie 1-Oxy-, 1-Amino-, 1-Chlor- und 2-Methylanthrachinon auf (100) von Alkalihalogeniden, wie NaCl, KCl und KJ sowie auf NH_4Cl (25), (26).[2])
2. Molekülverbindungen der Carbonsäuren mit anorganischen Salzen.	Bernsteinsäure, p-Aminobenzoesäure und Pentachlorbenzoesäure auf (100) von Alkalihalogeniden (26).
3. Molekülverbindungen des Hexamethylentetramins mit Hydraten von Metallsalzen.	Hexamethylentetramin auf (010) von Gips (25), (27).
4. Molekülverbindungen der Phenole mit Metallsalzen.	Pentachlor- (Fig. 4), Pentabromphenol und 1,2-Trichlorphenol auf (100) von Alkalihalogeniden (28); α-Hydrochinon, p-Oxydiphenyl, p,p′-Dioxydiphenyl, 3-Oxypyren, Pentachlorphenol auf (100) von Carbonaten der Kalkspatreihe und $NaNO_3$ (5), (15), (16) sowie α-Hydrochinon (15), (29) und Pentachlorphenol (28) auf (001) einer Reihe von Glimmern, Pentachlorphenol auf (001) von Pennin, auf $KClO_3$, Gips, Anhydrit und Antimonglanz (28).

[1]) Es ließ sich noch nicht entscheiden, ob das Coronen bei dieser Verwachsung als solches oder in Form der Molekülverbindung mit Pikrinsäure vorliegt.

[2]) NEUHAUS (30) berichtet in zwei Mitteilungen, die den oben zitierten Mitteilungen des Verfassers nachgängig sind, ebenfalls über orientierte Verwachsungen von Alizarin und anderen Anthracenabkömmlingen auf Alkalihalogeniden, ferner über derartige Verwachsungen mit anderen anorganischen Trägergittern vom Typ der Metallsalze.

Verwachsungen von Hexamethylentetramin mit Gips (Fig. 5), von Anthracen mit Chloranil (Fig. 1) sowie von verschiedenen Verbindungen der Chinonreihe, wie 1,4-Naphthochinon, Naphthazarin und namentlich Anthrachinon (IX) mit Alkalihalogeniden, wie NaCl.

Der letztere Fall sei wegen seiner besonderen Anschaulichkeit hier noch näher erläutert. In den Molekülverbindungen der Ketone und Chinone

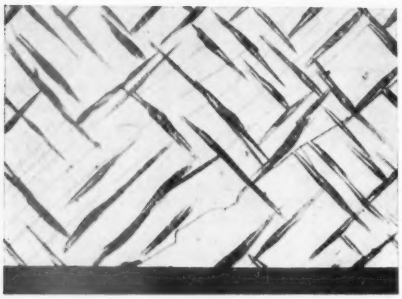


Fig. 4. Orientierte Aufwachsung von Pentachlorphenol auf (100) von NaCl (Vergr. 100mal).

mit Metallsalz wird bekanntlich eine Verknüpfung des Carbonylsauerstoffs mit dem Metallatom des Salzes angenommen (21). Eine Betrachtung des von B. C. GUHA (32) eingehend untersuchten Feinbaus des Anthrachinons zeigt, daß die Voraussetzungen für eine Verknüpfung des Anthrachinongitters mit (100) des Gitters von NaCl in der für Molekülverbindungen vom Typ Chinon-Metallsalz oben erwähnten Weise in hohem Maße vorhanden sind. Wie Fig. 6 zeigt, stimmt (010)

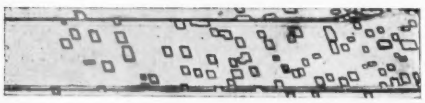
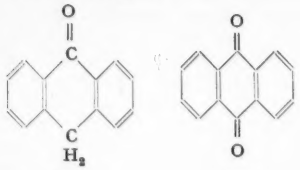


Fig. 5. Orientierte Aufwachsung von Hexamethylentetramin auf (010) von Gips (Vergr. 100mal).

von Anthrachinon für eine Verwachsung mit (100) von NaCl in zwei Stellungen mit c // [0$\bar{1}$1] bzw. [0$\bar{1}\bar{1}$] sehr gut überein. Die Lage der Anthrachinonmoleküle mit ihrer Breitachse zu (010) ist für eine Verknüpfung des Chinonsauerstoffs mit den Natriumionen in der oben erwähnten Weise besonders günstig (vgl. Fig. 7). In der Tat wächst Anthrachinon aus einer Lösung in Benzol oder Ligroin spielend leicht in nadeligen Kriställchen in zwei Stellungen mit der mit der kristallographischen c-Achse übereinstimmenden Nadelachse senkrecht zueinander // [0$\bar{1}$1] und [0$\bar{1}\bar{1}$] auf (100) von NaCl auf (Fig. 3). Für die Verknüpfung des Anthrachinonmoleküls mit dem Wirtsgitter durch eine Carbonylgruppe spricht auch das Ergebnis der Variationsmethode; es verwachsen orientiert mit Alkalihalogeniden auch aromatische Ketone, wie Anthron (VIII) und Benzanthron, die anders als Anthrachinon (IX) nur eine CO-Gruppe besitzen. Nicht hingegen verwächst der keine Carbonylgruppe führende Grundkohlenwasserstoff Anthracen trotz des Vorliegens der formalgeometrischen Voraussetzungen.



(VIII). (IX).

7. Eine Reihe der in der vorstehenden Tabelle zusammengestellten orientierten Verwachsungen konnte nicht nur allgemein der entsprechenden Gruppe von Molekülverbindungen zugeordnet, sondern unmittelbar einer aus der Literatur bekannten Molekülverbindung zwischen beiden Partnern an die Seite gestellt werden. Hierzu gehören z. B. die orientierten Verwachsungen: p-Nitrophenol-Harnstoff (21), p-Aminophenol-Anthracen (26) und Chloranil-Anthracen (21). Für die in der Tabelle 1 erwähnten orientierten Verwachsungen des Hexachlornaphthochinons mit aromatischen Verbindungen lassen sich die entsprechenden Molekülverbindungen leicht durch die beim Zusammenschmelzen der Komponenten auftretende intensive Färbung nachweisen.

Dem Fall Anthracen-Chloranil kommt besonderes Interesse dadurch zu, daß die entsprechende Molekülverbindung nur in der Schmelze durch die intensive Blaufärbung nachweisbar ist (21). Beim Abkühlen scheiden sich aus dieser Schmelze die unveränderten Komponenten wieder ab. In diesem Fall ist also die „zweidimensionale Verbindung" in der Kontaktschicht beständig, während die „dreidimensionale Verbindung" unter den erwähnten Bedingungen nicht existenzfähig ist.

Soweit zu den aufgefundenen orientierten Verwachsungen nur die zugehörige Gruppe der Molekülverbindungen, nicht aber die Molekülverbindung zwischen beiden Partnern selbst bekannt ist, steht zu hoffen, daß die Auffindung der Verwachsung fördernd auf die Auffindung der entsprechenden Molekülverbindung wirkt.

8. Die aus der Chemie der organischen Molekülverbindungen bekannte Lokalisierung der Bindekräfte auf bestimmte Atome bzw. Atomgruppen führt zu der Frage, welche Bedeutung der Lage dieser Verknüpfungsstellen in den Molekülen der Verwachsungsnetzebenen von Wirts- und Gastgitter für die orientierte Verwachsung zukommt. Diese Frage hat SEIFERT (12) bereits bei seiner Betrachtung über die von ihm angenommene Verknüpfung des Hydrochinonmoleküls durch Dipolbindung mit den Anionen des Träger-

gitters Kalkspat beschäftigt. In neuester Zeit befaßt sich NEUHAUS (30), (33) eingehend mit diesem Problem.

Auf dem Gebiet der Molekülverbindungen kommt G. BRIEGLEB (34) z. B. für die Molekülverbindungen von aromatischen kondensierten

Im letzteren Falle wären bei entsprechender Gitterübereinstimmung mehrere „isomere" Verwachsungsarten der gleichen Partner, die sich durch die verschiedenen Lagen der Verknüpfungsstellen in den Molekülen der Verwachsungsebenen unterscheiden, denkbar.

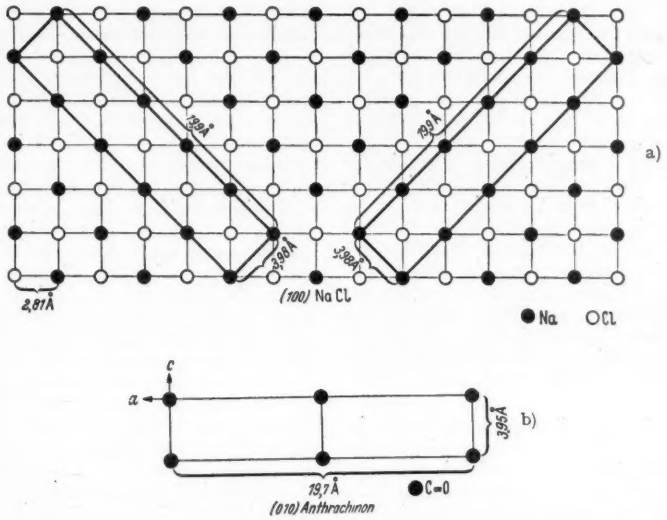


Fig. 6. Deutung der orientierten Aufwachsung von Anthrachinon auf (100) von NaCl mittels der Struktur von a) (100) von NaCl, b) (010) von Anthrachinon.

Ringsystemen mit Nitrokörpern zu dem Ergebnis, „daß diejenige Konstitution die wahrscheinlichste ist, bei der sich die Molekülebenen des Kohlenwasserstoffs und des Nitrokörpers parallel lagern. Eine Senkrechtstellung oder Hintereinanderlagerung der Kernebenen wäre aus energetischen Gründen viel unwahrscheinlicher."

Es fragt sich danach, ob z. B. bei einer orientierten Verwachsung von zwei Komponenten der letztgenannten Art — hinreichende Gitteranalogie vorausgesetzt — eine orientierte Verwachsung nur im Falle der oben erwähnten optimalen Lage oder in eng benachbarten Lagen der Molekülebenen einzutreten vermag oder auch in davon abweichenden, vielleicht sogar in den für die Bildung einer Molekülverbindung unwahrscheinlichsten Stellungen.

Im ersteren Falle würde die Aussicht, Verwachsungspartner zu finden, die außer den chemischen, formalgeometrischen und experimentellen Voraussetzungen noch die für eine Verknüpfung geeigneten Stellen in den Molekülen der Verwachsungsebenen in dieser ganz speziellen Lage enthalten, so gering sein, daß die bisher erzielten zahlreichen Erfolge im Aufbau von orientierten Verwachsungen an Hand der Chemie der organischen Molekülverbindungen kaum damit im Einklang stehen dürften.

Derartige „isomere" Verwachsungen sollten auch dann zu erhalten sein, wenn mehrere Verknüpfungsstellen in den Molekülen der verwachsenden Partner vorliegen, von denen einmal die einen und einmal die anderen in Beziehung zueinander treten können. Dieser letztere Fall würde

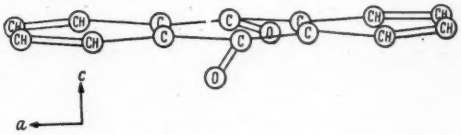


Fig. 7. Projektion des Anthrachinonmoleküls auf (010) (nach GUHA).

der Komplexisomerie (21) von Molekülverbindungen entsprechen.

Die vorerwähnten Fragen bedürfen noch der Prüfung an kristallographisch eindeutig bestimmbaren orientierten Verwachsungen von Komponenten mit eingehend bekanntem Feinbau.

9. Mit der Annahme einer Wesensgleichheit zwischen den für die Entstehung einer Molekülverbindung und den für eine orientierte Verwachsung maßgebenden Kräften beantwortet sich auch die Frage nach der Natur dieser Kräfte. Im Hinblick auf die Entwicklung der Ansichten über

diese Frage sei darauf hingewiesen, daß selbstverständlich auch Moleküle ohne permanentes Dipolmoment ebenso wie für die Bildung von Molekülverbindungen auch für die Bildung von orientierten Verwachsungen grundsätzlich geeignet sind. Hierfür ließ sich gleich bei Aufnahme der vorliegenden Untersuchungen in der orientierten Verwachsung von Hexamethylentetramin mit Gips (25), (27) ein Beispiel beibringen. Die orientierten Verwachsungen von dipolfreien aromatischen Kohlenwasserstoffen gehören ebenfalls hierher.

Es kommen also alle zwischenmolekularen Kräfte in Molekülverbindungen auch für eine orientierte Verwachsung in Frage. Auf die Bedeutung der Wasserstoffbrücke für die Entstehung von orientierten Verwachsungen wurde oben bereits hingewiesen. Weiterhin kommen z. B. in Betracht: der Dipolorientierungseffekt, der Ionen-Dipolorientierungseffekt, die beiden entsprechenden Induktionseffekte und der Dispersionseffekt. Näher auf das Wesen dieser Kräfte einzugehen, würde hier zu weit gehen. Es sei dazu auf die Monographie von BRIEGLEB (34) über „Zwischenmolekulare Kräfte und Molekülstruktur" verwiesen.

10. Unter den auf dem vorliegenden Gebiet noch zu lösenden Aufgaben seien hier einige weitere herausgegriffen. Während bei Aufnahme der vorliegenden Untersuchungen als anorganische Trägergitter für organische Verbindungen im wesentlichen nur Calcit, Zinkblende und einige Alkalihalogenide bekannt waren, ist es bereits gelungen, eine bedeutende Zahl anorganischer Trägergitter der verschiedensten Art erstmalig auf Grund der chemischen Betrachtungsweise zur orientierten Verwachsung mit organischen Verbindungen zu bringen. Genannt seien hier z. B. nur die anderen Glieder der Kalkspatreihe als Calcit, verschiedene Glimmer, Pennin, Talk, Gips, Anhydrit, Schwerspat, Cölestin, Antimonglanz und $KClO_3$. Es fehlen z. B. hingegen noch orientierte Verwachsungen organischer Verbindungen mit dem in diesem Zusammenhang als Trägergitter besonders interessanten elementaren Kohlenstoff, namentlich mit Diamant. Die in der Spaltfläche wie überhaupt in der Oberfläche des Diamanten liegenden Kohlenstoffatome sind nur mit drei ihrer vier Valenzen mit dem Gitter verknüpft. Es sollten daher solche organischen Verbindungen mit geeignetem Gitterbau, die sich an Verbindungen mit dreiwertigem Kohlenstoff zu addieren vermögen, mit Diamant zur Verwachsung zu bringen sein.

Die Suche nach orientierten Verwachsungen von organischen Verbindungen mit metallischen Elementen führte bisher zur Auffindung der Verwachsung des Anthrachinons mit dem Halbmetall Antimon. Versuche mit echten Metallen sind im Gange. Zu der chemischen Seite dieses Problems sei auf die Originalmitteilung (35) verwiesen.

Die Erfolge auf dem Gebiet der orientierten Verwachsungen zwischen organischen Verbindungen und anorganischen Trägergittern weisen darauf hin, daß eine chemische Betrachtungsweise derartiger Verwachsungen zwischen nur anorganischen Partnern vom Standpunkt der anorganischen Molekülverbindungen aus ebenso fruchtbar sein dürfte wie die Betrachtung der orientierten Verwachsungen organischer Verbindungen vom Standpunkt der organischen Molekülverbindungen.

11. Auf die Bedeutung der Erkenntnisse über das Wesen der orientierten Verwachsungen für das Verständnis der Mischkristallbildung, und zwar sowohl der Bildung normaler als auch sogenannter „anomaler" Mischkristalle, kann hier nur hingewiesen werden; zusammenfassende Arbeiten aus neuer und neuester Zeit stehen zur Orientierung über dieses Problem zur Verfügung (12), (13). Da die orientierten Verwachsungen sozusagen als Vorstufe der Mischkristalle betrachtet werden können, dürfte es sich verlohnen, auch die Frage der Mischkristallbildung in der oben für das Gebiet der orientierten Verwachsungen entwickelten Weise von der Chemie der Molekülverbindungen ausgehend zu bearbeiten.

Die Bedeutung der Ergebnisse der Chemie der orientierten Verwachsung von Kristallen für das allgemeine Adhäsionsproblem fester Körper dürfte ohne weiteres einleuchten.

Herrn Professor Dr. KALB, Köln, bin ich für Auskünfte in kristallographischen Fragen, Herrn Professor Dr. RAMDOHR, Berlin, für die Überlassung von Mineralien zu großem Dank verpflichtet. Den Werken Uerdingen und Leverkusen der I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft danke ich bestens für die Überlassung zahlreicher Chemikalien.

Literatur.

1. O. MÜGGE, Neues Jb. Mineral. Mh., Beil.-Bd. **16**, 335—475 (1903). — 2. L. FRANKENHEIM, Pogg. Ann. **37**, 516 (1836). — 3. TH. V. BARKER, Z. Kristallogr., Mineral., Petrogr., Abt. A **45**, 1—59 (1908). — 4. L. ROYER, Bull. Soc. franç. Mineral. **51**, 7—159 (1928). — 5. J. WILLEMS, Z. Kristallogr., Mineral., Petrogr., Abt. A **105**, 53—68 (1943). — 6. K. SPANGENBERG u. A. NEUHAUS, Chem. d. Erde **5**, 437—528 (1930). — 7. W. HEINTZE, Z. Kristallogr., Mineral., Petrogr., Abt. A **97**, 244—251 (1937). — 8. L. ROYER, C. Rend. **205**, 1418—1420 (1937). — 9. H. SEIFERT, Z. Kristallogr., Mineral., Petrogr., Abt. A **96** (1937). — 10. L. ROYER, C. Rend. **196**, 282—284 (1933). — 11. C. A. SLOAT u. A. W. C. MENZIES, J. Physic. Chem. **36**, 2005—2021 (1931). — 12. H. SEIFERT, Fortschr. Mineral., Kristallogr., Petrogr. **20**, 428 ff. (1936). — 13. A. NEUHAUS, Angew. Chem. **54**, 529 ff. (1941). — 14. C. W. BUNN, Proc. Roy. Soc. (London), Ser. A **141**, 567—593 (1933). — 15. J. WILLEMS, Naturwiss. **29**, 319 (1941). — 16. J. WILLEMS, Z. Kristallogr., Mineral., Petrogr., Abt. A **100**, 272 (1938). — 17. F. HABER, Z. Elektrochem., angew. physik. Chem. **20**, 521 (1914). — 18. I. LANGMUIR, J. Amer. chem. Soc. **38**, 2221 (1916). — 19. I. LANGMUIR, J. Amer. chem. Soc. **39**, 1848 (1917). — 20. P. PFEIFFER, Z. anorg. allg. Chem. **92**, 376 (1915); **97**, 161 (1916); **105**, 26 (1918).

— 21. P. PFEIFFER, Organische Molekülverbindungen, 2. Aufl. Stuttgart 1927. — 22. E. HERTEL u. K. KLEIN, Z. physik. Chem., Abt. B, 11, 59, 90 (1930). — E. HERTEL u. G. H. RÖMER, Z. physik. Chem., Abt. B, 11, 77 (1931). — 23. J. WILLEMS, Ber. dtsch. chem. Ges. 1943 (im Druck). — 24. J. WILLEMS, noch nicht veröffentlicht. — 25. J. WILLEMS, Naturwiss. 31, 146 (1943). — 26. J. WILLEMS, Naturwiss. 31, 301 (1943). — 27. J. WILLEMS, Z. Kristallogr., Mineral., Petrogr., Abt. A 105, 149—154 (1943). — 28. J. WILLEMS, Naturwiss. 31, 232 (1943). — 29. J. WILLEMS, Z. Kristallogr., Mineral., Petrogr., Abt. A 105, 144—148 (1943). — 30. A. NEUHAUS, Z. physik. Chem., Abt. A 192, 309 (1943). — Naturwiss. 31, 387 (1943). — 31. J. WILLEMS, Z. Kristallogr. Mineral., Petrogr., Abt. A 105, 155—156 (1943). — 32. B. C. GUHA, Philos. Mag. J. Sci. (7) 26, 213—223 (1938). — 33. A. NEUHAUS, Neues Jb. Mineral. Mh. (A) 150 (1943). — 34. G. BRIEGLEB, Zwischenmolekulare Kräfte und Molekülstruktur, S. 27. Stuttgart 1937. — 35. J. WILLEMS, Naturwiss. 31, 208 (1943).

Zur Theorie der Anlauffarben auf Metallen[1]).

Von G. MASING, Göttingen.

Im Jahre 1919 hat G. TAMMANN in der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen seine erste Arbeit über Anlauffarben von Metallen vorgelegt (1). Er hat den Mut gehabt, anzunehmen, daß die Dicke einer Anlaufschicht so weit gleichmäßig sein würde, daß der Versuch ihrer optischen Bestimmung Erfolg hätte, während der Skeptiker wohl zur Annahme neigte, daß die Anlaufschicht ein derart schlecht definiertes Gebilde darstellt, daß die genauere Untersuchung ihrer Dicke müßig sein müßte. Die Erfahrung hat G. TAMMANN in vollem Umfang Recht gegeben, und inzwischen ist über die Oberflächenschichten auf Metallen, die sich zuweilen durch ihre Anlauffarben sichtbar machen, zuweilen unsichtbar sind, eine reiche Forschungsliteratur entstanden (2). G. TAMMANNs Beobachtungsmethode war äußerst einfach. Die Probe wurde bei konstanter Temperatur in der in Frage kommenden Atmosphäre gehalten, mit der Stoppuhr in der Hand und mit dem Auge beobachtet, und an Hand der Tabelle von ROLLET (3) wurden die Zeiten notiert, in denen bestimmte Färbungen der Anlaufschicht auftraten. Die Tabelle von ROLLET gibt auf Grund der elementaren Theorie die Interferenzfarben dünner Blättchen für den Brechungsindex 1 der dünnen Schicht an. Hierbei wird bekanntlich, je nach der Dicke der Schicht, eine bestimmte Wellenlänge durch Interferenz ausgelöscht, während andere in ihrer Intensität beeinflußt werden. Es entstehen so im reflektierten Licht die Färbungen der Anlaufschichten.

Die ersten Beobachtungen von G. TAMMANN an Silber in verdünnter Jodatmosphäre ergaben, daß die Geschwindigkeit, mit der die Anlaufschicht, also der AgJ-Film auf der Oberfläche des Metalles, wächst, umgekehrt proportional der Schichtdicke y ist. Also:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{k}{y}; \quad y^2 = \frac{k_1 t}{2}. \tag{1}$$

Das war gerade das, was im einfachsten Falle theoretisch zu erwarten war. Wenn man annimmt, daß die Anlaufschicht dicht ist, muß der reagierende Stoff (sei es das Halogen von außen, sei es das Metall von der inneren Oberfläche her) durch die Schicht durch Diffusion wandern. Wenn man annimmt, daß die heterogenen Reaktionen an den Oberflächen der Schicht sehr viel schneller ablaufen, als die Diffusion in der Schicht, so können die Konzentrationen des diffundierenden Agens an den beiden Oberflächen als zeitunabhängig angesetzt werden. Dann ist sein Konzentrationsgefälle in der Schicht umgekehrt proportional der Schichtdicke. Das erste FICKsche Diffusionsgesetz ergibt dann unmittelbar:

$$\frac{dy}{dt} = D\frac{dc}{dx} = \frac{k_2}{y}, \tag{2}$$

wo D die Diffusionskonstante und x die Koordinate senkrecht zur Oberfläche innerhalb der Schicht ist, also das parabolische Gesetz.

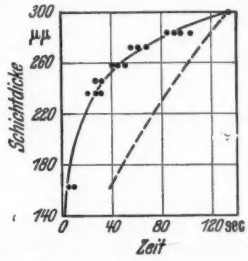


Fig. 1. Exponentielles und parabolisches Anlaufgesetz.

Dieser Befund war sehr ermutigend und zeigte, daß das angewandte Verfahren offenbar brauchbar war. Das parabolische Gesetz wurde in einer weiteren Reihe von Fällen, vor allen Dingen bei der Einwirkung von Halogenen auf

[1]) Unmittelbar nach der Abfassung des Aufsatzes erhielt ich Kenntnis von dem Erscheinen einer Reihe von dem allgemeinen Problem der Anlaufschicht gewidmeten englischen bzw. amerikanischen Arbeiten [Trans. of the Electrochemical Soc. 81 (1942)]. Trotz aller Bemühungen war es mir nicht möglich, diese Arbeiten zu beschaffen. Ich muß daher mit der Möglichkeit rechnen, daß der Inhalt dieses Aufsatzes überholt ist und bedauere, die erwähnten englischen Arbeiten nicht berücksichtigen zu können.

Metallen gefunden (4). Alles schien in bester Ordnung zu sein. Bei der Untersuchung des Anlaufens der Metalle durch Oxydation an der Luft wollte jedoch das parabolische Gesetz nicht herauskommen. Fig. 1. zeigt, durch Punkte angedeutet, einige Ergebnisse von W. KÖSTER am Eisen in Sauerstoff-Stickstoff-Gemengen und daneben gestrichelt die Werte, die man, vom höchsten Wert der Zeit bei der Dicke von 300 $\mu\mu$ ausgehend, bei Gültigkeit des parabolischen Gesetzes erwarten mußte. Die Abweichungen sind sehr erheblich und ganz sicher außerhalb der Fehlergrenzen. Es gelang nun KÖSTER zu zeigen, daß sie zufriedenstellend durch den Ansatz

$$\frac{dy}{dt} = K_1 \cdot e^{-k_2 y} \tag{3}$$

wiedergegeben werden können (die ausgezogene Kurve in Fig. 3). Wie wenig später gefunden wurde (5), verhielten sich alle untersuchten Metalle bei der Oxydation in dieser Weise.

Dieses Ergebnis war sehr überraschend. W. KÖSTER und G. TAMMANN versuchten es zwar zu erklären, indem sie eine andere Konzentrationsverteilung des diffundierenden Agens in der Anlaufschicht annahmen. Sie setzten nämlich an:

$$c = c_0 e^{-b x}, \tag{4}$$

wo c_0 die Konzentration an der Grenze ist. Dieser Ansatz läuft darauf hinaus, daß die Diffusionskonstante D sehr stark konzentrationsabhängig ist[2]). Es läßt sich jedoch sofort zeigen, daß er keine Abweichung vom parabolischen Gesetz ergibt. Wir schreiben auf Grund des ersten FICKschen Gesetzes

$$\frac{dy}{dt} = D(c) \cdot \frac{dc}{dx} = v. \tag{5}$$

D ist jetzt eine Funktion der Konzentration und also der Tiefe innerhalb der Schicht (von x). Für eine gegebene Schichtdicke y ist die Anlaufgeschwindigkeit v unabhängig von x. Wir können schreiben:

$$\int_{c_0}^{c_1} D(c)\, dc = v\, y. \tag{6}$$

Das Integral auf der linken Seite der Gl. (6) ist von der Schichtdicke y unabhängig; folglich ist

$$v = \frac{l}{y} \tag{7}$$

und wir erhalten aus Gl. (5) das parabolische Gesetz des zeitlichen Wachstums der Schicht. Das gilt für jede Konzentrationsverteilung des diffundierenden Agens in der Schicht, und also für jede Konzentrationsabhängigkeit der Diffusionskonstante. Das Versagen dieses Gesetzes, wie es bei der Oxydation von Metallen vorlag, führt deshalb zu einem Widerspruch zum ersten FICKschen Gesetz. Damit scheint die Definition der Diffusionskonstante zu versagen.

Wenn auch diese Konsequenz, soweit ich sehen kann, nirgends in der Literatur ausdrücklich ausgesprochen wurde, so wäre der Ansatz einer etwa exponentiellen Abhängigkeit der Diffusionskonstante von der Konzentration doch sehr wenig befriedigend gewesen. Es kam aber auch noch etwas anderes hinzu, was die Zweifel am exponentiellen Anlaufgesetz nach Gl. (4) verstärkte. Es wurde nämlich zunächst von N. B. PILLING und R. E. BEDWORTH (6) durch Bestimmung der Widerstandszunahme und dann von verschiedenen anderen Forschern nach verschiedenen, zu einem erheblichen Teil analytischen Methoden, das parabolische Gesetz gerade für die Oxydation der verschiedensten Metalle immer wieder bestätigt. Es schien hier eine strikte Widerlegung des exponentiellen Anlaufgesetzes vorzuliegen.

Nun war die Technik der G. TAMMANNschen Schule zwar einfach, aber durchaus nicht einwandfrei. Eine subjektive Beurteilung der Farben mußte zunächst stark vom Reflexionsvermögen der Schicht und des Metalles abhängen. Die volle Auswirkung der Interferenz war ja nur dann zu erwarten, wenn die beiden interferierenden Strahlen von gleicher Amplitude waren. Bekanntlich hängt fernerhin das Reflexionsvermögen im allgemeinen von der Wellenlänge ab, die damit zusammenhängenden Störungen müssen also sich mit der Wellenlänge und damit mit der Dicke der Anlaufschicht y ändern. Bei der Benutzung der Tabellen von ROLLET wurde fernerhin der Phasensprung bei der Reflexion am Metall selbst vernachlässigt, das heißt, das Metall wurde wie ein Isolator behandelt. Fernerhin wurde — bewußt — die Abhängigkeit des Brechungsindex der Schicht von der Wellenlänge vernachlässigt. In einigen Fällen war fernerhin nachgewiesen worden, daß die Anlaufschicht im Verlaufe des Versuches sich ändert, womit weitere Fehlerquellen gegeben sind.

So ist es verständlich, daß die Einstellung zum exponentiellen Gesetz vielfach eine skeptische war. Am eindeutigsten ist diese Einstellung von C. WAGNER (1) formuliert worden, der das exponentielle Gesetz für eine einfache Interpolationsformel hält, die unter Mitwirkung der Alterung oder der Rekristallisation der Anlaufschicht, möglicher Umwandlungen in ihr oder möglicher Entstehung von höheren Oxyden bei der Oxydation an der Oberfläche zustande kommt. Es kann im Zusammenhang mit dem oben Erörterten nicht bezweifelt werden, daß im Rahmen der von G. TAMMANN angewandten

[2]) Merkwürdigerweise betrachten auch LUSTMAN u. MEHL (l. c.) diesen Ansatz als für die Erklärung des exponentiellen Anlaufgesetzes diskutabel. K. FISCHBECK hat zuerst darauf hingewiesen, daß das parabolische Gesetz seine Gültigkeit behält, auch wenn die Diffusionskonstante konzentrationsabhängig ist [Z. anorg. allg. Chem. 165, 46 (1927)].

Methode ein weiter Raum für eine ziemlich willkürliche subjektive Interpolation gegeben ist, ja, daß ohne eine solche das Arbeiten nach seiner Methode überhaupt undurchführbar ist.

Inzwischen ist das exponentielle Anlaufgesetz im Laufe der Jahre aber immer wieder bestätigt worden. Zunächst haben G. TAMMANN und G. SIEBEL bei der Oxydation von Nickel die Wellenlänge des durch Interferenz ausgelöschten Lichtes spektroskopisch bestimmt und wieder das exponentielle Gesetz gefunden (7). Damit war die Bestimmung der Wellenlänge des durch Interferenz ausgelöschten Lichtes gesichert. Nun ist dieses Gesetz aber in den letzten Jahren fernerhin in einer Reihe von Fällen bei sehr dünnen Oberflächenschichten nach verschiedenen Methoden gefunden worden. R. HOLM, F. GÜLDENPFENNIG, E. HOLM und R. STORMER (8) haben nach der Methode von G. TAMMANN im weißen Licht unter sorgfältigster Berücksichtigung aller genannten Fehlerquellen das exponentielle Gesetz bei Nickel sehr genau bestätigt gefunden. A. STEINHEIL (9) hat die Dicke der Oxydschicht auf Aluminium auf Grund ihrer Transparenz bestimmt; W. H. J. VERNON, E. J. AKEROYD und E. G. STROUD (10) haben bei der Oxydation des Zinks unterhalb 200° gravimetrisch das exponentielle Gesetz gefunden. B. LUSTMAN und R. F. MEHL (1) haben dasselbe Ergebnis bei der Untersuchung der Elliptizität des reflektierten polarisierten Lichtes an oxydiertem Kupfer zwischen 80° und 155° und bei Eisen bei 300° erhalten. Besonders eingehend und überzeugend ist die sehr sorgfältig durchgeführte letzte Arbeit. Wenn man die Ergebnisse von W. KÖSTER und G. TAMMANN [am Nickel (Fig. 2) und eines der Ergebnisse von B. LUSTMAN und R. F. MEHL am Kupfer (Fig. 3)] vergleicht, sieht man, daß das exponentielle Gesetz im ersteren Falle vielleicht noch schärfer herauskommt, als im zweiten. Der wesentliche Vorzug der zweiten Arbeit ist eben die physikalisch einwandfreie, wenn auch ziemlich umständliche, Methode. Die Richtungsänderungen der logarithmischen Geraden scheinen ziemlich häufig vorzukommen. Worauf die Gebiete verschiedener Anlaufgeschwindigkeit bei einer Probe zurückzuführen sind, weiß man noch gar nicht.

Heute muß man sich aber auf alle Fälle wohl damit abfinden, daß es wirklich ein exponentielles Anlaufgesetz gibt, und es ist die Aufgabe der Wissenschaft, die hier bestehenden Zusammenhänge weiterhin aufzuklären und eine Erklärung des exponentiellen Anlaufgesetzes zu geben.

Wir haben gesehen, daß dieses Anlaufgesetz zur Folge hat, daß das erste FICKsche Diffusionsgesetz nicht gelten kann und demnach auch die Diffusionskonstante des wirksamen Agens durch die Schicht nicht definiert werden kann. Die Lage ist hier ähnlich wie bei der bekannten äußerst leicht flüssigen Modifikation II des Heliums (11). Das Helium II leitet die Wärme um Größenordnungen besser, als die Metalle, und zwar ist die übertragene Wärme nicht proportional dem Temperaturgefälle, so daß die Definition der Wärmeleitfähigkeit versagt. Das ist offenbar darauf zurückzuführen, daß bei den Versuchen, die Wärmeleitung zu messen, in

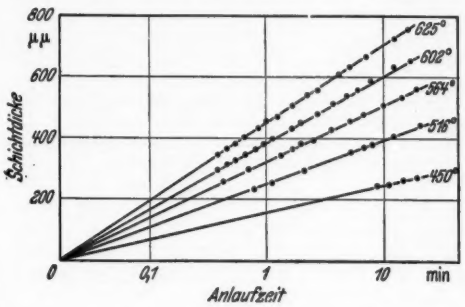


Fig. 2. Anlaufgeschwindigkeit des Nickels. (Nach KÖSTER.)

Wirklichkeit sich störende Erscheinungen, wahrscheinlich durch Konvektion des äußerst liquiden Heliums, einstellen, so daß man in Wirklichkeit gar nicht das Wärmeleitvermögen mißt[3]). Etwas Ähnliches muß auch im Falle der Anlaufschichten gelten. Es kann sich hier eben nicht um Dif-

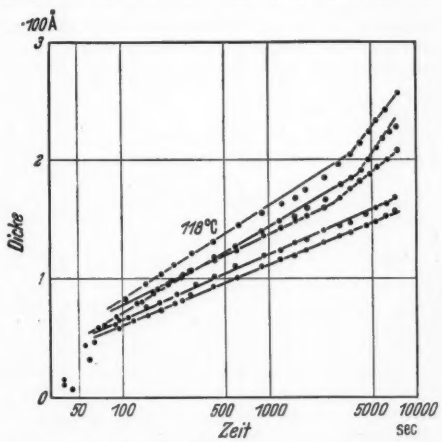


Fig. 3. Anlaufgeschwindigkeit des Kupfers. (Nach LUSTMAN u. MEHL.)

fusion im gewöhnlichen Sinne des Wortes handeln. Was kann das denn sein?

W. H. J. VERNON, E. J. AKEROYD und E. G. STROUD haben angenommen, daß es sich beim Eindringen des Agens etwa aus der Atmosphäre

[3]) Diese Bemerkung verdanke ich R. BECKER, Göttingen.

in die Anlaufschicht um eine Art Absorption handelt, indem durch jede differentielle Dickenschicht nur ein Bruchteil der eintretenden Teilchen durchgelassen wird. Was mit dem Rest geschieht, wird nicht ausgeführt. Es ist zunächst nicht ersichtlich, wie auf diese Weise ein stationärer Zustand erreicht werden kann, bei dem ja die Zahlen der durch jede Schicht letzten Endes hindurchgehenden Teilchen gleich sein müssen. Auf diese Weise läßt sich die Analogie zwischen dem exponentiellen Gesetz und dem gewöhnlichen Absorptionsgesetz noch nicht durchführen. N. F. MOTT hat für die Oxydbildung des Aluminiums angenommen, daß Elektronen durch einen Tunneleffekt durch die Oxydschicht dringen (12). Die an die Oberfläche der Schicht gelangenden Elektronen ionisieren den Sauerstoff ($O_2 \rightarrow O''$); das durch die Schicht diffundierende Aluminium-Ion kann sich dann an der Oberfläche mit dem Sauer-

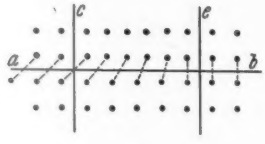


Fig. 4. Schema einer Versetzung an der Gleitebene $a\,b$.

stoff-Ion des Oxyds bilden. Es wird angenommen, daß das Hindurchtreten der Elektronen der langsamste und damit der geschwindigkeitsbestimmende Vorgang ist. Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Elektron mit der Energie W eine Energieschwelle von der (größeren) Höhe U überschreiten kann, ist durch den Ausdruck

$$k\,e^{-\frac{4\pi y\sqrt{2m(U-W)}}{h}} \qquad (8)$$

gegeben. Hier ist y die Schichtdicke, die das Elektron zu durchschreiten hat, m seine Masse, h das Wirkungsquantum. Dieser Ansatz ergibt sofort das exponentielle Anlaufgesetz. Jedoch ist der Ausdruck (8) unabhängig von der Temperatur und kann eine Temperaturabhängigkeit des Anlaufvorganges, die sehr erheblich ist, nicht erklären, wie LUSTMAN und MEHL mit Recht betonen.

Vielleicht führt hier aber in Anlehnung an H. J. VERNON, E. J. AKEROYD und E. G. STROUD ein etwas anderer Ansatz weiter. G. TAMMANN hat zur Erklärung der hohen Reaktionsgeschwindigkeit von Salzen und Oxyden im festen Zustand angenommen, daß innerhalb eines Raumgitters eine Bewegung von Teilchen längs Gittergeraden (in der Reaktionszone) auch ohne ein Konzentrationsgefälle möglich sei (13). Dieser Ansatz erhält ein neues Interesse im Zusamenhang mit unseren heutigen Anschauungen über die plastische Verformung (Translation) bei Metallen und Salzen (14). Hierbei werden als Elementarschritte der Gleitung bekanntlich „Versetzungen" angenommen, die darin bestehen, daß unter dem Einfluß einer thermischen Schwankung eine Störung im Raumgitter entsteht, wie die in Fig. 4 wiedergegebene, bei der in einer Gittergeraden auf einer kurzen Strecke sich ein Gitterstein zu viel befindet. Während zur Bildung einer derartigen Versetzung eine Energiezufuhr notwendig ist, erfolgt ihre Wanderung ohne weiteren Energieaufwand. Bei der plastischen Verformung der Metalle findet ihre Bildung und Wanderung unter der Mitwirkung von Schubspannungen, die in Fig. 4 schematisch durch Pfeile angedeutet worden sind, statt. Der obere Teil des Raumgitters wandert mit der Versetzung mit. Im Falle der Wanderung eines Teilchens, etwa eines Cu-Ions im Cu_2O, durch das Raumgitter wird man das in unserem Falle nicht anzunehmen brauchen. Man wird vielmehr annehmen, daß eine Versetzung an der Oberfläche des Raumgitters der Schicht, etwa an der Berührungsfläche mit dem Metall durch Eintritt eines Metall-Ions entsteht. Eine Voraussetzung dafür ist ein durch Schwankungserscheinungen herbeigeführter Impuls, der nicht nur die Bildung, sondern auch die Wanderung der Störungsstelle längs einer Gittergeraden, die wahrscheinlich dann der Gleitrichtung im Falle der plastischen Verformung entsprechen würde, verursacht, bis die Störungsstelle auf ein Hindernis stößt, als welches ein Fehler im Raumgitter gelten kann. Dort wird sie zunächst aufgehalten. Wenn sie dort liegenbliebe, so würde das nach und nach eine steigende Anhäufung der in Frage kommenden Teilchen, etwa der Kupferionen, herbeiführen; das Modell würde genau dem oben erwähnten von VERNON, AKEROYD und STROUD (10) entsprechen und dieselben Schwierigkeiten machen. Das überschüssige Teilchen in der aufgehaltenen Versetzung muß vielmehr wieder abwandern, und zwar nach rückwärts. Das scheint ohne weiteres möglich zu sein. Die angehaltene Versetzung ist durch thermische Schwankungen ständigen Stößen nach verschiedenen Richtungen ausgesetzt. Während ihr Weiterwandern in der alten Richtung jedoch durch die Störungsstelle verhindert wird, besteht kein Hindernis für ihre Rückwanderung bis zu ihrem Ausgangspunkt an der Oberfläche längs einer Gitterteilchenkette, die ja fehlerfrei ist. Auf diese Weise wandert durch jeden Querschnitt innerhalb der Anlaufschicht in einer Richtung netto die gleiche Anzahl von Teilchen, die gleich der Differenz der Zahlen der vor- und zurückwandernden ist.

Die Wahrscheinlichkeit, daß eine Versetzung durch die gesamte Schicht hindurchwandert, nimmt mit der Schichtdecke exponentiell ab.

Die große Temperaturabhängigkeit der An-

laufgeschwindigkeit kann auf Grund der Formel von ARRHENIUS

$$v = k e^{-\frac{U}{RT}} \qquad (9)$$

erklärt werden. Die Aktivierungsenergie U einer Versetzungsbildung wird bei Metallen auf 50.000 cal/Mol geschätzt (14). Die Wahrscheinlichkeit der Versetzungsbildung sollte deshalb in derselben Weise wie bei Metallen mit der Temperatur stark ansteigen. Hierbei ist jedoch die Beziehung Gl. (9) quantitativ nicht erfüllt [vgl. LUSTMAN u. MEHL (1)]. Auch das ist verständlich, da anzunehmen ist, daß die Dichtigkeit der Fehlstellen eine Funktion sowohl der Temperatur als auch der Wachstumsgeschwindigkeit der Schicht ist.

Die in Fig. 3 sichtbare Richtungsänderung (Aufrichtung) der logarithmischen Geraden, die nach LUSTMAN und MEHL (1) ziemlich allgemein auftritt und sie veranlaßt, das exponentielle Anlaufgesetz in der verallgemeinerten Form

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{a_1 e^{b_1 y}} + \frac{1}{a_2 e^{b_2 y}} \qquad (10)$$

zu schreiben, muß auf irgendwelche Veränderungen innerhalb der Schicht zurückzuführen sein. Eine solche Veränderung kann vielleicht in der Rekristallisation der Schicht bestehen, wenn in der Schicht mit zunehmender Schichtdicke ein steigender Zwangszustand angenommen werden kann. Eine Folge der Rekristallisation muß eine Abnahme der Zahl der Fehlstellen und damit eine Erhöhung der Wachstumsgeschwindigkeit der Schicht sein.

Trotzdem man auf diese Weise einen befriedigenden Ansazt für die Erklärung der beobachteten Tatsachen erhält, bleibt bei der Bildung der Anlaufschichten noch sehr vieles unklar. So ist es sehr auffallend, daß das Kupfer bei gewöhnlicher Temperatur in Gegenwart von Schwefelwasserstoff an Luft nach dem parabolischen Gesetz, in einer Lösung jedoch exponentiell anläuft, trotzdem in beiden Fällen anscheinend dasselbe Reaktionsprodukt entsteht (15). Nach den Beobachtungen der Schule von U. R. EVANS (16) findet das Rosten eines in einen Elektrolyten vertikal tauchenden Eisenstückes wie folgt statt: In der Nähe der Wasseroberfläche nimmt man mit bloßem Auge keine Änderung wahr (es entsteht hier eine unsichtbare Oxydhaut). Am unteren Ende des Stückes bildet sich Rost, auf der Übergangszone beobachtet man Anlauffarben. Das Einsetzen des Rostens wird auf Fehlstellen der primär sich bildenden Oxydhaut zurückgeführt, die in der oberen Schicht fehlen (oder schnell genug nach ihrer Entstehung ausgeheilt werden). Hieraus muß man schließen, daß die Bildung der Anlauffarben in der Übergangszone eine stärkere Störung der Oxydhaut, als in der oberen Schicht, zur Voraussetzung hat. Ja, man muß hierbei annehmen, daß das Anlaufen, wie die Korrosion, elektrochemisch, also mit Hilfe eines ganz anderen Mechanismus, als es die Diffusion oder der oben geschilderte Wanderungsvorgang der Teilchen ist, erfolgt. Es erscheint in diesem Zusammenhange nicht ausgeschlossen, daß für das Wachstum der Oberflächenschichten auch an der Atmosphäre ganz andere Vorgänge als die bisher betrachteten maßgebend sind.

Ganz sicher ist jedoch wohl, daß das exponentielle Anlaufgestz die normale Diffusion nach dem FICKschen Gesetz gänzlich ausschließt.

Literatur.

1. Z. anorg. allg. Chem. 111, 78 (1920). — 2. Zusammenfassende Darstellungen finden sich in G. TAMMANN, Lehrbuch der Metallkunde, 4. Aufl. Leipzig 1932. — G. MASING, Theorie der Korrosion im Handbuch „Korrosion metallischer Werkstoffe" von O. BAUER, O. KRÖHNKE und G. MASING. Leipzig 1936. — U. EVANS, Korrosion, Passivität und Oberflächenschutz von Metallen. Berlin 1939 (im Deutschen bearbeitet von E. PIETSCH). — C. WAGNER, Chemische Reaktionen der Metalle, Bd. I, II des Handbuches der Metallphysik von G. MASING. Leipzig 1940. — Für die neueste Literatur siehe auch B. LUSTMAN und R. MEHL, Trans-A. I. M. E. 143. Inst. of Metals Div. 1941, S. 246. — 3. Vgl. Tabellen von LANDOLDT-BÖRNSTEIN, Ausg. 1905. — 4. G. TAMMANN u. W. KÖSTER, Z. anorg. allg. Chem. 123, 196 (1922). — 5. E. SCHRÖDER u. G. TAMMANN, Z. anorg. allg. Chem. 128, 179 (1923). — 6. J. Inst. Metals 29, 534 (1923). — 7. Z. Anorg. allg. Chem. 152, 149 (1926). — 8. Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Hause, X, 4, 22 (1931). — 9. Ann. Phys. 19, 455 (1934). — 10. J. Inst. Metals 65 (1939). — 11. W. H. KEESOM, Helium, Amsterdam-London-New York 1942. — 12. Trans. Faraday Soc. 35, 1175 (1939); 36, 472 (1940). — 13. Z. anorg. allg. Chem. 149, 21 (1925). — 14. A. KOCHENDÖRFER, Plastische Eigenschaften von Kristallen und metallischen Werkstoffen. Berlin 1941. — 15. G. TAMMANN u. H. BREDEMEYER, Z. anorg. Chem. 144, 64 (1925). — 16. U. R. EVANS, Korrosion, Passivität und Oberflächenschutz von Metallen. Berlin 1939.

Kettenleiter.

Von G. ZICKNER, Berlin.

Der rastlose Fortschritt der neuzeitlichen Technik bringt es mit sich, daß die praktische Anwendung neuer technischer Errungenschaften ihrer wissenschaftlichen Erklärung häufig voraneilt. Vielfach haben sich sogar Einzelwissenschaften aus ganz bestimmten Praktiken entwickelt, so daß man geradezu von einem „Primat der Praxis" sprechen kann. Gelegentlich ist es auch einmal umgekehrt; der Fall, daß die physikalische Forschung der Technik ein gebrauchsfähiges Instrument in praktisch völlig fertiger Form überreicht hat, liegt z. B. bei den Ketten-

leitern vor, die als Siebschaltungen und Wellenfilter heute zu den allgemein geläufigen Schaltungselementen der Elektrotechnik gehören.

Die mathematische Behandlung der Vorgänge in Kettenleitern kann nach zwei wesentlich voneinander verschiedenen Verfahren erfolgen. Die eine, wohl am häufigsten angewandte Methode wurde von WAGNER im engsten Anschluß an die Theorie kontinuierlicher elektrischer Leitungen entwickelt. Da die Kettenleiter auf dieser Grundlage als inhomogene Leitungsgebilde aufzufassen sind, so werden die für jene Theorie charakteristischen Begriffe des Wellenwiderstandes und des Dämpfungsmaßes auf diese Probleme sinngemäß übertragen. Die andere Methode wurde von RIEGGER angegeben, der die Kettenleiter als Systeme gekoppelter Schwingungskreise analytisch behandelt. Er gelangt auf diese Weise zu einer übersichtlichen Darstellung der stationären Ausgleichsvorgänge in Kettenleitern sehr allgemeiner Schaltung.

Ein Berechnungsverfahren für Siebschaltungen in weitestem Umfange auf Grund der Vorstellungen der Leitungstheorie hat CAUER[1]) veröffentlicht. Er leitet die Eigenschaften eines Filters aus Leerlaufwiderstand und Kurzschlußwiderstand mit Hilfe einer Wellenwiderstandsfunktion (Produkt) und einer Dämpfungsfunktion (Quotient) ab. Das CAUERsche Verfahren eignet sich besonders für Fälle, in denen Siebschaltungen häufig berechnet und in größerem Umfange hergestellt werden; es berücksichtigt in seiner weiteren Entwicklung auch die wirtschaftlichen Gegebenheiten.

In der Wechselstromtechnik spielen Kettenleiter zu vielen Zwecken, unter anderem auch zur Trennung von Schwingungen, z. B. zum Unterdrücken unerwünschter Frequenzen, eine beachtliche Rolle. Häufig tritt die Notwendigkeit auf, Sperr- oder Siebketten behelfsmäßig zusammenzustellen. Hierzu soll im folgenden das Berechnungsverfahren für Kettenleiter in seinen Grundzügen kurz auseinandergesetzt werden. Die hier gegebene Darstellung folgt im wesentlichen ebenfalls dem erstgenannten der beiden Wege.

Kettenleiter entstehen durch Reihenschaltung von Vierpolen. Sind die Vierpole untereinander gleich, so ergibt sich ein homogener, sind sie außerdem symmetrisch, ein symmetrischer homogener Kettenleiter. Da die im Laboratorium gebräuchlichen Wellenfilter meist symmetrische homogene Kettenleiter sind, so beschränkt sich die Erörterung im wesentlichen auf diese.

Der einzelne Vierpol, d. h. das Kettenglied, kann sich aus seinen Schaltelementen auf mancherlei Art zusammensetzen. Ist die Schaltung zurückführbar auf eine der Formen, die in Fig. 1 und 2 gezeichnet sind, so erhält man die beiden Grundketten, die als die praktisch wichtigsten und häufigst verwendeten hier in erster Linie behandelt werden. Sie setzen sich zusammen aus den in diesen Figuren dargestellten Gliedern erster bzw. zweiter Art.

Das Kettenglied erster Art ist ein Dreieck, das zweiter Art ein Stern. Die hieraus gebildeten Kettenleiter unterscheiden sich aber nur am Anfang und am Ende. Der Kettenleiter erster Art, auch Π-Glied genannt, beginnt und endigt mit einem Nebenschluß-Scheinleitwert, derjenige zweiter Art, auch als T-Glied bezeichnet, mit einem Reihen-Scheinwiderstand.

Die Scheinwiderstände bzw. Scheinleitwerte, aus denen das einzelne Kettenglied besteht, können sich ihrerseits wieder in beliebiger Weise aus Kapazitäten, Induktivitäten und Widerständen zusammensetzen. Koppelungen zwischen den Zweigen seien vermieden. Der durch das Längsglied dargestellte Scheinwiderstand sei mit $\mathfrak{R}$, der durch das Querglied dargestellte Scheinleitwert mit $\mathfrak{G}$ bezeichnet. Je nach der Art des Gliedes erscheint einer von beiden als in zwei Halbwerte aufgeteilt.

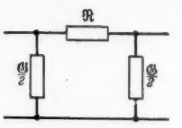


Fig. 1. Kettenglied erster Art.

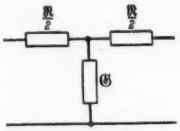


Fig. 2. Kettenglied zweiter Art.

Aus Fig. 1, die ein beliebiges Glied eines Kettenleiters darstellt, lassen sich ohne weiteres die Gleichungen ablesen:

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{U}_n - \mathfrak{U}_{n+1} &= \mathfrak{R}\left(\mathfrak{J}_n - \frac{\mathfrak{G}}{2}\,\mathfrak{U}_n\right), \\ \mathfrak{J}_n - \mathfrak{J}_{n+1} &= \frac{\mathfrak{G}}{2}\,(\mathfrak{U}_n + \mathfrak{U}_{n+1}), \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

während aus Fig. 2 in ähnlicher Weise folgt:

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{U}_n - \mathfrak{U}_{n+1} &= \frac{\mathfrak{R}}{2}\,(\mathfrak{J}_n + \mathfrak{J}_{n+1}), \\ \mathfrak{J}_n - \mathfrak{J}_{n+1} &= \mathfrak{G}\left(\mathfrak{U}_{n+1} + \frac{\mathfrak{R}}{2}\,\mathfrak{J}_{n+1}\right). \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

Beide Gleichungspaare lassen sich auf die gemeinsame Form bringen:

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{U}_n &= \mathfrak{A}\,\mathfrak{U}_{n+1} + \mathfrak{B}\,\mathfrak{J}_{n+1}, \\ \mathfrak{J}_n &= \mathfrak{A}\,\mathfrak{J}_{n+1} + \mathfrak{C}\,\mathfrak{U}_{n+1}, \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

wobei die 3 Koeffizienten $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{C}$ die Dimensionen einer reinen Zahl bzw. eines Widerstandes bzw. eines Leitwertes besitzen und, gemäß dem Umkehrungssatz der Vierpoltheorie, der Beziehung genügen:

$$\mathfrak{A}^2 - \mathfrak{B}\,\mathfrak{C} = 1. \tag{4}$$

Durch Koeffizientenvergleichung ergeben sich ihre Werte. Für die Dreieckform des Vierpols gilt:

$$\mathfrak{A} = 1 + \frac{\mathfrak{R}\,\mathfrak{G}}{2}, \quad \mathfrak{B} = \mathfrak{R}, \quad \mathfrak{C} = \mathfrak{G}\left(1 + \frac{\mathfrak{R}\,\mathfrak{G}}{4}\right), \tag{5}$$

[1]) W. CAUER, Z. angew. Math. Mech. 10, 425 (1930).

für die Sternform:

$$\mathfrak{A} = 1 + \frac{\mathfrak{R}\mathfrak{G}}{2},\quad \mathfrak{B} = \mathfrak{R}\left(1 + \frac{\mathfrak{R}\mathfrak{G}}{4}\right),\quad \mathfrak{C} = \mathfrak{G} \qquad (6)$$

Längs des Kettenleiters fallen Spannungen und Ströme ab. Berücksichtigt man dies durch die Ansätze

$$\mathfrak{U}_n = a e^{-ng},\quad \mathfrak{J}_n = b e^{-ng}, \qquad (7)$$

so folgt aus Gl. (3), wobei die Gliederzahl n herausfällt:

$$\left.\begin{aligned} a &= a\mathfrak{A}e^{-g} + b\mathfrak{B}e^{-g},\\ b &= b\mathfrak{A}e^{-g} + a\mathfrak{C}e^{-g}. \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

Hieraus findet man durch Elimination von a und b unter Berücksichtigung von Gl. (4):

$$\mathfrak{A} = \frac{1}{2}(e^{g} + e^{-g}) = \cos\mathrm{h}\, g, \qquad (9)$$

$$\sqrt{\mathfrak{B}\mathfrak{C}} = \frac{1}{2}(e^{g} - e^{-g}) = \sin\mathrm{h}\, g, \qquad (10)$$

und durch Division, mit Rücksicht auf Gl. (7):

$$\frac{a}{b} = \frac{\mathfrak{U}_n}{\mathfrak{J}_n} = \mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{C}}}, \qquad (11)$$

also

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{Z}\cdot\sin\mathrm{h}\, g, \qquad (12)$$

$$\mathfrak{C} = \frac{1}{\mathfrak{Z}}\cdot\sin\mathrm{h}\, g. \qquad (13)$$

$\mathfrak{Z}$ wird als Wellenwiderstand, g als Übertragungsmaß des Kettenleiters bezeichnet. $\mathfrak{Z}$ ist, wie aus der Vierpoltheorie bekannt, der geometrische Mittelwert von Leerlaufwiderstand und Kurzschlußwiderstand des Kettenleitergliedes. Durch Einsetzen von Gl. (9), (12) und (13) in (3) erhält man:

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{U}_n &= \mathfrak{U}_{n+1}\cos\mathrm{h}\, g + \mathfrak{J}_{n+1}\,\mathfrak{Z}\sin\mathrm{h}\, g,\\ \mathfrak{J}_n &= \mathfrak{J}_{n+1}\cos\mathrm{h}\, g + \frac{\mathfrak{U}_{n+1}}{\mathfrak{Z}}\sin\mathrm{h}\, g. \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

Durch wiederholte Anwendung der Gl. (14) auf die folgenden Glieder erhält man die sog. Kettenleitergleichungen, die Strom und Spannung am Anfange des Kettenleiters mit den entsprechenden Größen hinter dem n-ten Gliede verknüpfen, und die man auch in folgender Form schreiben kann:

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{U}_n &= \mathfrak{U}_0\cos\mathrm{h}\, ng - \mathfrak{J}_0\,\mathfrak{Z}\sin\mathrm{h}\, ng,\\ \mathfrak{J}_n &= \mathfrak{J}_0\cos\mathrm{h}\, ng - \frac{\mathfrak{U}_0}{\mathfrak{Z}}\sin\mathrm{h}\, ng. \end{aligned}\right\} \qquad (15)$$

Ist der Kettenleiter mit dem Widerstande R abgeschlossen, so gilt ferner:

$$\mathfrak{U}_n = R\cdot\mathfrak{J}_n. \qquad (16)$$

Im Falle der Anpassung des Wellenwiderstandes an den Verbraucher ($\mathfrak{Z} = R$) wird nach Gl. (15)

$$\mathfrak{U}_n = \mathfrak{U}_0 e^{-ng},\qquad \mathfrak{J}_n = \mathfrak{J}_0 e^{-ng} \qquad (17)$$

und nach Gl. (16)

$$\mathfrak{U}_0 = R\cdot\mathfrak{J}_0; \qquad (18)$$

mithin wird der Eingangswiderstand des Kettenleiters ebenfalls gleich R, d. h. die Einschaltung des angepaßten Kettenleiters zwischen Erzeuger und Verbraucher ändert nichts an den Strom- und Spannungsverhältnissen. In diesem Falle gibt also der Kettenleiter die ihm zugeführte Energie restlos an den Verbraucher weiter, der Wirkungsgrad wird gleich 100%. Es braucht nicht weiter erörtert zu werden, daß dieses Ergebnis in der Praxis nur mehr oder weniger angenähert erreicht werden kann.

Aus Gl. (11) und (5) bzw. (11) und (6) erhält man für den Wellenwiderstand der Dreiecksform den Ausdruck

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{G}}}\sqrt{1 + \frac{\mathfrak{R}\mathfrak{G}}{4}}, \qquad (19)$$

für den der Sternform dagegen

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{G}}}\cdot\sqrt{1 + \frac{\mathfrak{R}\mathfrak{G}}{4}}. \qquad (20)$$

Für beide Formen gelten ferner nach Gl. (5), (6), (9) und (10) die Gleichungen

$$\cos\mathrm{h}\, g = 1 + \frac{\mathfrak{R}\mathfrak{G}}{2}, \qquad (21)$$

$$\sin\mathrm{h}\, g = \sqrt{\mathfrak{R}\mathfrak{G}}\cdot\sqrt{1 + \frac{\mathfrak{R}\mathfrak{G}}{4}}. \qquad (22)$$

Durch Übergang zum halben Argument gewinnt man ferner die Beziehungen

$$\sin\mathrm{h}\,\frac{g}{2} = \frac{1}{2}\sqrt{\mathfrak{R}\mathfrak{G}}, \qquad (23)$$

$$\cos\mathrm{h}\,\frac{g}{2} = \sqrt{1 + \frac{\mathfrak{R}\mathfrak{G}}{4}}. \qquad (24)$$

Ferner findet man für das Dreiecksglied:

$$\mathfrak{G}\mathfrak{Z} = 2\,\mathrm{tg}\,\mathrm{h}\,\frac{g}{2} \qquad (25)$$

und für das Sternglied:

$$\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{Z}} = 2\,\mathrm{tg}\,\mathrm{h}\,\frac{g}{2}. \qquad (26)$$

Die Werte für sin h, cos h und tg h werden einer der hierfür gebräuchlichen Tafeln entnommen[2]).

Das Übertragungsmaß hat im allgemeinen den komplexen Betrag

$$g = \beta + j\alpha, \qquad (27)$$

wobei β (bei Ketten von mehreren Gliedern $n\beta$) das Dämpfungsmaß und α (bzw. $n\alpha$) das Winkelmaß heißt. Vernachlässigt man jedoch die Wirkwiderstände gegen die Blindwiderstände, so werden $\mathfrak{R}$ und $\mathfrak{G}$ rein imaginär, also $\cos\mathrm{h}\, g$ eine reelle Zahl, die mit A bezeichnet sei. Diese Vernachlässigung ist insofern statthaft, als man in der Praxis im Interesse eines geringen Energiever-

[2]) Z. B. K. HAYASHI, Fünfstellige Tafeln der Kreis- und Hyperbelfunktionen. Berlin: de Gruyter 1941.

brauches die Wirkwiderstände so klein als möglich halten wird; überdies kann man zeigen, daß die Eigenschaften des Kettenleiters durch die Wirkwiderstände nicht wesentlich beeinflußt werden, solange diese nicht extrem hohe Beträge annehmen. Aus der Auflösung

$$\cos h\, g = \cos h\, \beta \cos \alpha + j \sin h\, \beta \sin \alpha \qquad (28)$$

folgt alsdann:

$$\cos h\, \beta \cos \alpha = A, \qquad (29)$$

$$\sin h\, \beta \sin \alpha = 0. \qquad (30)$$

Hiernach ist also entweder

$$\cos \alpha = A, \qquad \beta = 0 \qquad (31)$$

oder

$$\cos h\, \beta = \pm A, \quad \alpha = 0 \text{ oder } \pm \pi \qquad (32)$$

Da cos stets < 1 und cos h stets > 1 ist, so kann die erste der Gleichungen nur gelten, wenn $|A| > 1$, während die zweite nur für $|A| > 1$ besteht. Liegt also A zwischen $+1$ und -1, so ist das

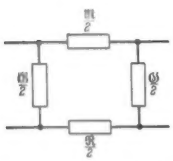


Fig. 3. Viereckglied.

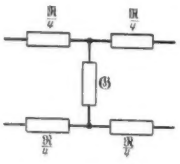


Fig. 4. H-Glied.

Dämpfungsmaß gleich Null, also läßt der Kettenleiter durch, d. h. es findet eine Weiterleitung elektrischer Arbeit statt; liegt A dagegen außerhalb dieses Bereiches, so sperrt der Kettenleiter den Energietransport nach Maßgabe des Betrages von A. Da cos h stets positiv sein muß, so bedeutet das Auftreten eines negativen Wertes für diese Größe, daß $\cos \alpha = -1$, also $\alpha = \pm \pi$ ist. Die Werte $A = +1$ und $A = -1$ entsprechen den Grenzfrequenzen, bei denen die Dämpfung anfängt oder aufhört; hierfür gelten nach Gl. (21) die Beziehungen

$$\mathfrak{R}\, \mathfrak{G} = 0 \qquad (33)$$

und

$$\mathfrak{R}\, \mathfrak{G} = -4. \qquad (34)$$

Das Verhalten der Kettenleiter ändert sich nicht, wenn man die Längsglieder in beliebiger Weise auf beide Längsleitungen verteilt. Man kann also z. B.

1. alle Längsglieder in eine Längsleitung legen, während die andere Längsleitung widerstandslos vom Anfange der Kette zum Ende läuft. Diese Leitung wird zweckmäßig geerdet;

2. die Längsglieder gleichmäßig auf beide Längsleitungen verteilen. Die Kette ist dann erdsymmetrisch; man kann die Mitten aller Querglieder auf Erdpotential bringen. So ergibt sich statt des Dreieckgliedes das Viereckglied (Fig. 3), statt des Sterngliedes das H-Glied (Fig. 4).

Die im folgenden besprochenen Typen von Kettenleitern charakterisieren sich im wesentlichen durch 4 Konstanten, nämlich Wellenwiderstand $\mathfrak{Z}$, Dämpfungsmaß β und die beiden Grenzfrequenzen f_u und f_0, von denen f_u die untere, f_0 die obere bedeuten soll. Weniger wichtig sind in der Praxis die Eigenfrequenz f_r und das Winkelmaß α.

Für das Dämpfungsmaß $n\beta$ einer n-gliedrigen Kette ergibt sich nach Gl (17)

$$\mathfrak{U}_0/\mathfrak{U}_n = \mathfrak{J}_0/\mathfrak{J}_n = e^{n g} = e^{n\beta} \cdot e^{j n \alpha}. \qquad (35)$$

Da sich der Faktor $e^{j n \alpha}$ nur auf die Phase bezieht, so folgt aus dem reellen Teil:

$$\ln \frac{U_0}{U_n} = \ln \frac{J_0}{J_n} = n\beta. \qquad (36)$$

Demnach steigt das Dämpfungsmaß proportional der Gliederzahl, das Amplitudenverhältnis mit ihrer Potenz. Durch Vermehrung der Gliederzahl kann der Übergang vom Bereich sehr kleiner zum Bereich sehr großer Wellendämpfung beliebig steil gemacht werden. Aus Gl. (35) ersieht man ferner, daß das Phasenmaß der n-gliedrigen

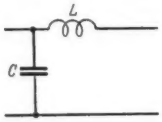


Fig. 5. Grundsätzliche Leiteranordnung beim Tiefpaß.

Kette den Wert $n\alpha$ annimmt. Der Wellenwiderstand einer Grundkette ist von der Gliederzahl unabhängig.

Praktische Bedeutung für die Trennung von Frequenzen haben in erster Linie diejenigen Kettenleiter erlangt, deren Längs- und Querglieder zueinander widerstandsreziprok sind, d. h. die der Bedingung genügen:

$$\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{G}} = Z^2, \qquad (37)$$

wobei Z eine reelle Größe ist. Z steht, wie später erörtert wird, in enger Beziehung zum Wellenwiderstand $\mathfrak{Z}$. Einige der gebräuchlichsten dieser Ketten (Tiefpaß, Hochpaß, Bandpaß und Bandsperre) werden im folgenden eingehender behandelt.

1. Drosselkette, Tiefpaß (Fig. 5).

Es ist

$$\mathfrak{R} = j\omega L, \quad \mathfrak{G} = j\omega C,$$

$$\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{G}} = \frac{L}{C}, \quad \mathfrak{R}\,\mathfrak{G} = -\omega^2 L C.$$

Hieraus ergibt sich der Wellenwiderstand nach Gl. (19) und (20) zu (∇ = Dreieck, Y = Stern)

$$\mathfrak{Z}_\nabla = \sqrt{\frac{L}{C}} \Big/ \sqrt{1 - \frac{\omega^2 L C}{4}}, \qquad (38)$$

$$\mathfrak{Z}_Y = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \sqrt{1 - \frac{\omega^2 L C}{4}}, \qquad (39)$$

sowie die Dämpfung in Abhängigkeit von der Frequenz aus Gl. (21)

$$\cos h\, g = 1 - \frac{\omega^2 LC}{2} = 1 - 2\frac{\omega^2}{\omega_0^2} = 1 - 2\eta^2 \quad (40)$$

und die Grenzfrequenzen aus Gl. (33) bzw. (34)

$$\omega_u = 0, \quad f_u = 0, \quad (41)$$

$$\omega_0 = \frac{2}{\sqrt{LC}}, \qquad f_0 = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}. \quad (42)$$

Für das Sperrgebiet ($A < -1$) gilt:

$$\cos h\, \beta = -A = 2\frac{\omega^2}{\omega_0^2} - 1. \quad (43)$$

Hieraus ergibt sich sofort die für die Berechnung der Frequenzabhängigkeit der Dämpfung bequeme Beziehung:

$$\cos h\, \frac{\beta}{2} = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{f}{f_0} = \eta. \quad (44)$$

Die Größe η wird zuweilen als „normierte Frequenz" bezeichnet. Der Ausdruck (44) ist die Gleichung einer Kettenlinie.

Die Phase ist

$$\alpha = \pi. \quad (45)$$

Zum praktischen Gebrauch formt man sich die Gl. (38) und (39) folgendermaßen um:

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \left(1 - \frac{f^2}{f_0^2}\right)^{\mp\frac{1}{2}} = Z\,(1-\eta^2)^{\mp\frac{1}{2}}, \quad (46)$$

wobei das Minuszeichen im Exponenten für das Dreieck, das Pluszeichen für den Stern gilt. Hierin ist für f die Betriebsfrequenz einzusetzen. Ist f wesentlich kleiner als f_0 (Aussperrung höherer Oberfrequenzen), so ist $\eta^2 \ll 1$, also

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{L}{C}} = Z \quad (47)$$

für beide Kettengliederformen. Hieraus und aus Gl. (42) ergibt sich:

$$\left.\begin{aligned} L &= \frac{2Z}{\omega_0} = \frac{Z}{\pi f_0}, \\ C &= \frac{2}{\omega_0 Z} = \frac{1}{\pi f_0 Z}. \end{aligned}\right\} \quad (48)$$

Die graphische Darstellung dieser Formeln für einen Anpassungswiderstand $Z = 600\ \Omega$ ergibt die Kurven L und C im Kurvenblatt Fig. 20.

Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so berechnet man L und C aus Gl. (42) und (46). Ist die Betriebsfrequenz überhaupt nicht festgelegt, so gilt folgende Überlegung.

Der absolute Betrag der Funktion

$$(1-\eta^2)^{\mp\frac{1}{2}} = \frac{|\mathfrak{Z}|}{Z}$$

ist in Fig. 6 dargestellt, wobei die mit ∇ bezeichnete Kurve für das Minuszeichen, die mit Y bezeichnete für das Pluszeichen des Exponenten gilt. Schreibt man letztere in der Form

$$\eta^2 + \left(\frac{\mathfrak{Z}}{Z}\right)^2 = 1,$$

so erkennt man, daß für $|\eta| < 1$ die Kurve die Form eines Halbkreises mit dem Radius 1 um den Nullpunkt hat und ferner, daß $\mathfrak{Z}$ im Durchlaßbereich reell ist; es wird gleich 1 für $\eta = 0$ und hat bei $\eta = \pm 1$ Nullstellen. Im Sperrbereich ($|\eta| > 1$) ist $\mathfrak{Z}$ imaginär, ferner liegen die absoluten Beträge von $\mathfrak{Z}$ auf den Ästen einer gleichseitigen Hyperbel (die den Kreis in den Punkten $\eta = \pm 1$ berührt), weil in diesem Gebiete

$$\eta^2 - \left(\frac{\mathfrak{Z}}{Z}\right)^2 = 1$$

ist. Die Kurve für das Dreieckglied ist die der reziproken Werte des Sterngliedes; sie hat also

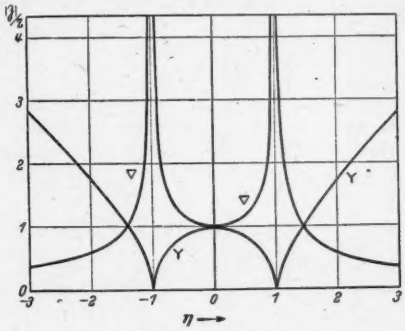


Fig. 6. Frequenzabhängigkeit des Wellenwiderstandes.

für $\eta = 0$ den Wert 1 und für $\eta = \pm 1$ den Wert ∞. Die Kurven zeigen, da ω_0 und Z Konstanten sind, die Abhängigkeit des Wellenwiderstandes von der Frequenz. Aus Gl. (40) folgt, daß der Kettenleiter zwischen $\eta = 0$ und $\eta = \pm 1$ durchläßt; ist $|\eta| > 1$, so tritt Energiereflexion ein und der Kettenleiter sperrt. Die Lochgrenze $\eta = 0$ entspricht dem Grenzwert $A = +1$, während die Grenzfrequenzen $\eta = \pm 1$ aus dem Grenzwert $A = -1$ folgen. Dem Sperrgebiet entsprechen daher negative A-Werte, deren Absolutbetrag größer als 1 ist, aber positive η-Werte, deren Betrag > 1 ist. Die Kurven der rechten Halbebene der Fig. 6 stellen also das Verhalten des Tiefpasses bezüglich des Wellenwiderstandes dar. Zwischen beiden Grenzen soll $\mathfrak{Z}$ möglichst weitgehend an R angeglichen werden. Das ist, wie der Kurvenverlauf zeigt, nur für ein begrenztes Gebiet des Durchlaßbereiches mehr oder weniger angenähert möglich. Wählt man für die Dreieckschaltung Z etwas kleiner als R, so werden $\mathfrak{Z}_\nabla$ und R für je einen Wert von η rechts und links der Nullordinate gleich, dasselbe tritt für $\mathfrak{Z}_Y$ ein, wenn bei Sternschaltung Z etwas größer als R gewählt wird. Wie sich weiter

zeigen läßt, tritt bei einer n-gliedrigen Kette die Anpassung von $\mathfrak{Z}$ an R weiter ein für alle Werte von η, für die das Winkelmaß $\alpha = \pm k \cdot \pi/n$ ist, wobei $k = 1, 2 \ldots n$ die Zahlrenreihe von 1 bis n durchläuft. Eine nähere Untersuchung der Dämp-

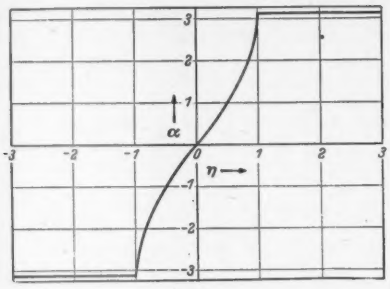


Fig. 7. Frequenzabhängigkeit des Winkelmaßes.

fungsverhältnisse, deren Einzelheiten in der Spezialliteratur nachzulesen sind[3]), zeigt, daß sich im allgemeinen optimale Anpassung ergibt, wenn bei Dreieckschaltungen $Z = 0{,}8 \cdot R$, bei Sternschaltungen $Z = 1{,}25 \cdot R$ gesetzt wird. Dieses Ergebnis gilt allgemein.

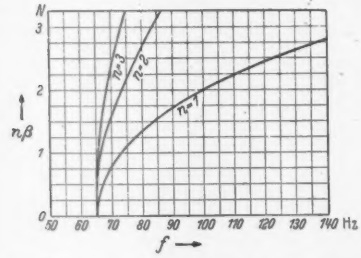


Fig. 8. Dämpfungskurven eines ein-, zwei- und dreigliedrigen Tiefpasses.

Für das Winkelmaß ergibt sich nach Gl. (31) im Durchlaßbereich ($\beta = 0$):

$$\cos\alpha = 1 - 2\eta^2, \tag{49}$$

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \pm\eta, \tag{50}$$

d. h. das Winkelmaß geht im Durchlaßbereich längs einer arc-sin-Kurve von dem Wert $-\pi$ auf den Wert $+\pi$ über. Im Sperrbereich ist der durchgelassene Reststrom gegen den Eingangsstrom um 180° in der Phase verschoben (vgl. Fig. 7). Wiederum bezieht sich auf den Tiefpaß nur die rechte Hälfte der Figur.

[3]) R. FELDTKELLER, Siebschaltungstheorie. Leipzig: S. Hirzel 1933.

Beispiel: Kettenglied in Dreieckform, angepaßt an 600 Ω. Betriebsfrequenz 60 Hz, Grenzfrequenz 65 Hz; gesucht L und C.

$$\frac{f}{f_0} = \frac{60}{65}, \qquad \sqrt{1-\left(\frac{f}{f_0}\right)^2} = 0{,}385,$$

$$\sqrt{\frac{L}{C}} = 3\sqrt{1-\left(\frac{f}{f_0}\right)^2} = 231\,\Omega,$$

$$\sqrt{LC} = \frac{1}{\pi f_0} = \frac{1}{204}\,s,$$

$$L = \frac{231}{204}\,\Omega\,s = 1{,}13\,\mathrm{H},$$

$$C = \frac{1}{231 \cdot 204} \cdot \frac{s}{\Omega} = 21{,}2\ \mu\mathrm{F}.$$

Für $L = 1$ H und $C = 22\ \mu$F liegt f_0 bei 68 Hz.

In Fig. 8 ist $n\beta$ in Abhängigkeit von f für diesen Fall gezeichnet, und zwar für eine Kettengliederzahl von $n = 1$, 2 und 3. Die Ordinaten

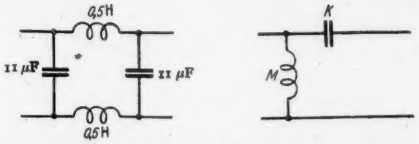


Fig. 9. Tiefpaß (Beispiel).

Fig. 10. Grundsätzliche Leiteranordnung beim Hochpaß.

sind direkt in Neper angegeben. Das Amplitudenverhältnis ist $e^{n\beta}$. Praktische Ausführung: Längsglied in jeder Leitung = 0,5 H. Querglied je 11 μF (vgl. Fig. 9).

Für beliebige Betriebsfrequenz würden sich nach Gl. (48) mit $Z = 0{,}8$ R die Werte ergeben

$$L = 2{,}35\ \mathrm{H}, \qquad C = 10{,}2\ \mu\mathrm{F}.$$

Für $L = 2{,}5$ H und $C = 10\ \mu$F würde f_0 bei 64 Hz liegen. Der starke Unterschied in den errechneten Werten rührt daher, daß im ersten Falle für 60 Hz, im zweiten für den ganzen Lochbereich bestens angepaßt wurde. Rücken Betriebsfrequenz und Grenzfrequenz weiter auseinander, so verringern sich rasch die Unterschiede.

Es darf jedoch nicht verschwiegen werden, daß die Trennung so nahe beieinander liegender niedriger Frequenzen praktisch einige Schwierigkeiten bereitet, hauptsächlich, weil die theoretisch vernachlässigten Wirkwiderstände praktisch die scharfe Trennung von Sperrbereich und Lochbereich etwas verwischen.

Ferner werden Spulen von mehr als 1 H ohne Eisenkern schon recht unhandlich, wenn sie nicht zu hohen Widerstand besitzen sollen. Eisenkernspulen hingegen haben wiederum den Nachteil der Strom- und Frequenzabhängigkeit der Selbstinduktion; sie sind daher rechnerisch schwierig zu behandeln, wenn Betriebsfrequenz und Betriebsstromstärke nicht festliegen. Da die An-

passungsbedingungen ohnehin nicht kritisch sind, so dürfte sich die erstgenannte der beiden Ausführungen mehr empfehlen. Ein gegebenenfalls auftretender Mangel an Flankensteilheit der Dämpfungskurve kann durch Vermehrung der Kettengliederzahl ausgeglichen werden.

2. Kondensatorkette, Hochpaß (Fig. 10).

Hier ist $\mathfrak{R} = \frac{1}{j\omega K}$, $\mathfrak{G} = \frac{1}{j\omega M}$ (Kapazität $= K$, Selbstinduktion $= M$). Damit wird

$$\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{G}} = \frac{M}{K}, \qquad \mathfrak{R}\mathfrak{G} = -\frac{1}{\omega^2 M K},$$

$$\mathfrak{Z}_V = \sqrt{\frac{M}{K}}\Big/\sqrt{1-\frac{1}{4\omega^2 M K}}, \tag{51}$$

$$\mathfrak{Z}_Y = \sqrt{\frac{M}{K}}\cdot\sqrt{1-\frac{1}{4\omega^2 M K}}, \tag{52}$$

$$\cos\mathrm{h}\, g = 1-\frac{1}{2\omega^2 M K} = 1-2\eta^2. \tag{53}$$

Im Sperrgebiet gilt für die Dämpfung

$$\cos\mathrm{h}\frac{\beta}{2} = \frac{f_u}{f} = \eta \tag{54}$$

und für die Phase

$$\alpha = -\pi. \tag{55}$$

Die Grenzfrequenzen ergeben sich zu

$$\omega_u = \frac{1}{2\sqrt{M K}}, \qquad f_u = \frac{1}{4\pi\sqrt{M K}}, \tag{56}$$

$$\omega_0 = \infty, \qquad f_0 = \infty. \tag{57}$$

Praktische Anwendung.

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{M}{K}}\cdot\left(1-\left(\frac{f_u}{f}\right)^2\right)^{\mp\frac{1}{2}} = Z\,(1-\eta^2)^{\mp\frac{1}{2}}. \tag{58}$$

Das Minuszeichen des Exponenten gilt wieder für das Dreieck, das Pluszeichen für den Stern. Die Frequenzabhängigkeit von $\mathfrak{Z}$ und α wird durch die linke Halbebene der Fig. 6 und 7 dargestellt. Im übrigen gelten auch hier die zu diesen Kurven gemachten Ausführungen (vgl. S. 341). Ist die Betriebsfrequenz f erheblich größer als f_0 (z. B. bei der Aussperrung technischer Frequenzen), so gilt

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{\frac{M}{K}} = Z. \tag{59}$$

Hieraus folgt

$$\left.\begin{aligned} M &= \frac{Z}{2\omega_u} = \frac{Z}{4\pi f_u},\\ K &= \frac{1}{2\omega_u Z} = \frac{1}{4\pi f_u Z}. \end{aligned}\right\} \tag{60}$$

Für einen Anpassungswiderstand 600 Ω können die Werte von M und K dem Kurvenblatt Fig. 20 entnommen werden. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, so werden M und K aus den Gl. (56) und (58) berechnet. Ist die Betriebsfrequenz variabel oder nicht bekannt, so wählt man auf Grund der Ausführungen auf S. 342 wiederum bei Dreieckschaltung $Z = 0{,}8\,R$, bei Sternschaltung $Z = 1{,}25\,R$.

Beispiel: Kettenglied in Sternform, angepaßt an 600 Ω. Betriebsfrequenz 800 Hz, Grenzfrequenz 500 Hz. Gesucht M und K.

$$\frac{f_u}{f} = \frac{500}{800}, \qquad \sqrt{1-\left(\frac{f_u}{f}\right)^2} = 0{,}781,$$

$$\sqrt{\frac{M}{K}} = 3\Big/\sqrt{1-\left(\frac{f_u}{f}\right)^2} = 768\,\Omega,$$

$$\sqrt{M K} = \frac{1}{4\pi f_u} = \frac{1}{6280}\,\mathrm{s},$$

$$M = \frac{768}{6280}\,\Omega\,\mathrm{s} = 0{,}122\,\mathrm{H},$$

$$K = \frac{1}{768\cdot 6280}\cdot\frac{\mathrm{s}}{\Omega} = 0{,}207\,\mu\mathrm{F}.$$

Für $M = 0{,}125$ H und $K = 0{,}2\,\mu$F sperrt die Kette unterhalb von 503 Hz. Fig. 11 stellt die

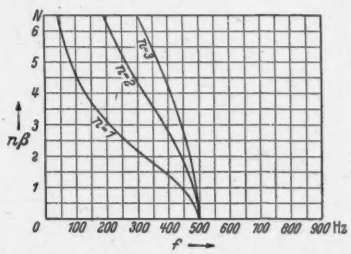


Fig. 11. Dämpfungskurven eines ein-, zwei- und dreigliedrigen Hochpasses.

Dämpfungskurven für eine ein-, zwei- und dreigliedrige Kette dar ($n\,\beta$ in Neper).

Praktische Ausführung: H-Form, 0,125 H als Querglied, 4 × je 0,8 μF in den Längsarmen.

Bei der Berechnung für variable Betriebsfrequenz ergibt sich mit $Z = 1{,}25$ R:

$$M = 0{,}119\,\mathrm{H}, \qquad K = 0{,}212\,\mu\mathrm{F}.$$

Man erhält also praktisch völlig übereinstimmende Werte.

Soll das Kettenglied unter sonst gleichen Umständen für 800 Hz an einen Endwiderstand 6 Ω angepaßt sein, so ergibt sich

$$M = 1{,}22\,\mathrm{m\,H}, \qquad K = 20{,}7\,\mu\mathrm{F}.$$

Bei Ausführung als H-Glied würden also in jedem Längsarm 80 μF unterzubringen sein. Ist die Kette mehrgliedrig, so zieht man die benachbarten Kapazitäten der Längsarme zu je einer einzigen zusammen. Eine zweigliedrige Kette würde demnach das Aussehen der Fig. 12 annehmen.

Für den Fall, daß die Frequenzbedingungen eingehalten sind, unter denen $\mathfrak{Z} = \sqrt{L/C}$ gesetzt werden kann, und für einen Wert des Anpassungswiderstandes $R = 600\,\Omega$ sind aus dem Kurvenblatt Fig. 20 die Werte der Größen L, K, M, C

für Tief- und Hochpaß zu entnehmen, und zwar zwischen 100 und 10000 Hz direkt, für andere Frequenzen durch sinngemäß verschobene Koordinaten.

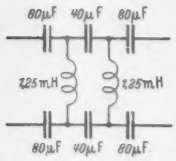


Fig. 12. Hochpaß (Beispiel).

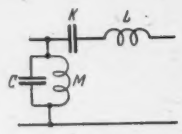


Fig. 13. Grundsätzliche Leiteranordnung beim Bandpaß.

3. Siebkette, Bandpaß (Fig. 13).

Die Bezeichnung der Kapazitäten und Induktivitäten ist die gleiche wie in Fig. 5 und 10. Längsglieder und Querglieder sind in Resonanz miteinander, es ist also $LK = MC = 1/\omega_r^2$. L und M seien nicht miteinander gekoppelt. Man findet

$$\mathfrak{R} = j\omega L + \frac{1}{j\omega K}, \quad \mathfrak{G} = j\omega C + \frac{1}{j\omega M},$$

$$\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{G}} = \frac{L}{C} = \frac{M}{K}, \quad \mathfrak{R}\mathfrak{G} = -\frac{(1-\omega^2 LK)^2}{\omega^2 MK},$$

$$\mathfrak{Z}_P = \sqrt{\frac{L}{C}} \Big/ \sqrt{1 - \frac{(1-\omega^2 LK)^2}{4\omega^2 MK}}, \tag{61}$$

$$\mathfrak{Z}_Y = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \sqrt{1 - \frac{(1-\omega^2 LK)^2}{4\omega^2 MK}}, \tag{62}$$

$$\cos h\, g = 1 - \frac{(1-\omega^2 LK)^2}{2\omega^2 MK}. \tag{63}$$

Im Sperrbereich gilt

$$\cos h \frac{\beta}{2} = \pm\eta = \pm \frac{f_r^2 - f^2}{f \cdot \Delta f}. \tag{64}$$

Hierin ist f_r die Resonanzfrequenz, Δf die Differenz der Grenzfrequenzen (Lochweite).

Man kann leicht zeigen, daß die Grenzen $\eta = \pm 1$ identisch sind mit den Grenzfrequenzen $\omega = \omega_0$ und $\omega = \omega_u$. Hieraus erklärt sich die Gültigkeit der Diagramme Fig. 6 und 7 auch für diesen Fall.

Aus der Bedingung Gl. (34) leitet man ab:

$$\frac{\omega}{\omega_r} = \mp\sqrt{\frac{M}{L}} \pm \sqrt{\frac{M}{L} + 1}. \tag{65}$$

Da ω/ω_r positiv sein muß, so folgt für die Grenzfrequenzen

$$\left.\begin{aligned} \frac{\omega_0}{\omega_r} &= \sqrt{\frac{M}{L}} + \sqrt{\frac{M}{L} + 1}, \\ \frac{\omega_u}{\omega_r} &= -\sqrt{\frac{M}{L}} + \sqrt{\frac{M}{L} + 1}. \end{aligned}\right\} \tag{66}$$

Hieraus ergibt sich

$$\frac{\omega_0 - \omega_u}{\omega_r} = 2\sqrt{\frac{M}{L}} = 2\sqrt{\frac{K}{C}} \tag{67}$$

und

$$\frac{\omega_0\,\omega_u}{\omega_r^2} = \frac{f_0 f_u}{f_r^2} = 1. \tag{68}$$

Je kleiner M bzw. K, um so schärfer die Siebwirkung.

Die Resonanzfrequenz ist das geometrische Mittel aus den beiden Grenzfrequenzen. Durch zwei von ihnen ist die dritte festgelegt. Weiter erhält man, wenn $\omega_0 - \omega_u = \Delta\omega$ (bzw. $f_0 - f_u = \Delta f$) gesetzt wird:

$$\left.\begin{aligned} \Delta f &= \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}, \\ f_0 &= \sqrt{\frac{(\Delta f)^2}{4} + f_r^2} + \frac{\Delta f}{2}, \\ f_u &= \sqrt{\frac{(\Delta f)^2}{4} + f_r^2} - \frac{\Delta f}{2}. \end{aligned}\right\} \tag{69}$$

Da aber aus Gl. (68) folgt, daß

$$(\omega_0 + \omega_u)^2 = 4\omega_r^2 + (\omega_0 - \omega_u)^2$$

und somit

$$\omega_m^2 = \omega_r^2 + \frac{(\Delta\omega)^2}{4}, \text{ wenn } \omega_m = \frac{\omega_0 + \omega_u}{2}$$

das arithmetische Mittel der Grenzfrequenzen bezeichnet, so ergibt sich:

$$f_0 = f_m + \frac{\Delta f}{2}, \quad f_u = f_m - \frac{\Delta f}{2}. \tag{70}$$

Für schmalen Lochbereich ($\Delta f^2/4 \ll f_r^2$) folgt $f_m \approx f_r$; diese Frequenz wird man zweckmäßig als Betriebsfrequenz wählen.

Die andere Bedingung (Gl. 33) hat zwei gleiche Lösungen $\omega = \omega_r$, d. h. es existieren zwei Durchlaßbereiche, von f_0 bis f_r und von f_r bis f_u, die bei f_r aneinandergrenzen und den gemeinsamen Durchlaßbereich ($f_0 - f_u$) bilden.

Bringt man $\mathfrak{Z}$ auf die Form

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{Z} &= \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \left(1 - \frac{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_r}\right)^2\right]^2}{4\left(\frac{\omega}{\omega_r}\right)^2 \cdot \frac{M}{L}} \right)^{\mp\frac{1}{2}} \\ &= Z \cdot \left(1 - \left[\frac{f_r^2 - f^2}{f \cdot \Delta f}\right]^2 \right)^{\mp\frac{1}{2}}, \end{aligned}\right\} \tag{71}$$

so erkennt man, daß für die Betriebsfrequenz f_r der Wellenwiderstand den Wert $\mathfrak{Z} = \sqrt{L/C} = \sqrt{M/K} = Z$ annimmt [vgl. Gl. (47) und (59)], der daher dem Verbraucherwiderstand anzupassen ist. Somit ergibt sich:

$$\left.\begin{aligned} L &= \frac{Z}{\pi\Delta f}, \quad & K &= \frac{\Delta f}{4\pi f_r^2 Z}, \\ M &= \frac{\Delta f \cdot Z}{4\pi f_r^2}, \quad & C &= \frac{1}{\pi\Delta f Z}. \end{aligned}\right\} \tag{72}$$

Für $Z = 600\,\Omega$ kann man die Werte L, K, M, C auch den Kurven Fig. 20 entnehmen, wenn man für L und C statt f_0 die Lochweite Δf, für M und K statt f_u die Größe $f_r^2/\Delta f$ als Abszisse einsetzt.

Ist die Betriebsfrequenz nicht gegeben, so wählt man (vgl. S. 342) $Z = 0{,}8\,R$ bzw. $Z = 1{,}25\,R$, je nach Dreieck- oder Sternschaltung.

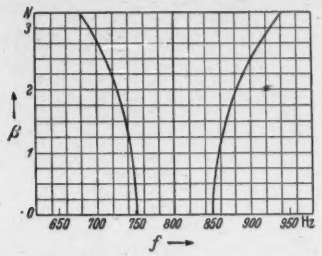


Fig. 14. Dämpfungskurven eines Bandpasses.

Beispiel: Kettenglied in Stern- oder Dreieckform, angepaßt an 1000 Ω, Betriebsfrequenz 800 Hz, soll etwa ± 50 Hz beiderseits der Betriebsfrequenz durchlassen. Gesucht L, K, M, C. Aus Gl. (68) ergibt sich für $f_0 = 850$ Hz, $f_u = 753$ Hz und $\Delta f = 97$ Hz.

Man findet ferner aus den Gl. (72):

$$L = 3{,}28\,\text{H}, \quad K = 12{,}1\,\text{nF},$$

$$M = 12{,}1\,\text{mH}, \quad C = 3{,}28\,\mu\text{F}.$$

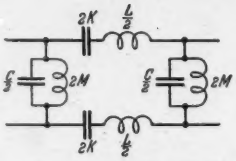


Fig. 15. Bandpaß in Dreiecksschaltung (Beispiel).

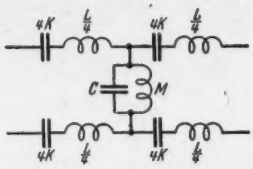


Fig. 16. Bandpaß in Sternschaltung (Beispiel).

In Fig. 14 ist die Frequenzabhängigkeit des Dämpfungsverlaufes für dieses Kettenglied in Neper dargestellt. Wäre der Anpassungswiderstand $R = Z = 600\,\Omega$, so würden sich die Werte $L = 1{,}97$ H, $K = 20{,}1$ nF, $M = 7{,}24$ mH, $C = 5{,}47\,\mu$F auch aus der Kurventafel Fig. 20 ablesen bzw. extrapolieren lassen.

Verteilt man die Werte auf die einzelnen Zweige des Kettengliedes, so ergeben sich die Anordnungen Fig. 15 (Dreieck) und 16 (Stern).

4. *Sperrkette, Bandsperre* (Fig. 17).

Es sei wieder $1/\omega_r^2 = L\,K = M\,C$. Man erhält dann:

$$\mathfrak{R} = \frac{j\,\omega\,L}{1 - \omega^2\,L\,K}, \qquad \mathfrak{G} = \frac{j\,\omega\,C}{1 - \omega^2\,M\,C},$$

$$\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{G}} = \frac{L}{C} = \frac{M}{K}, \qquad \mathfrak{R}\,\mathfrak{G} = -\frac{\omega^2\,L\,C}{(1 - \omega^2\,L\,K)^2},$$

$$\mathfrak{Z}_V = \sqrt{\frac{L}{C}} \Big/ \sqrt{1 - \frac{\omega^2\,L\,C}{4\,(1 - \omega^2\,L\,K)^2}}, \tag{73}$$

$$\mathfrak{Z}_Y = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \sqrt{1 - \frac{\omega^2\,L\,C}{4\,(1 - \omega^2\,L\,K)^2}}, \tag{74}$$

$$\cos\text{h}\,g = 1 - \frac{\omega^2\,L\,C}{2\,(1 - \omega^2\,L\,K)^2}. \tag{75}$$

Für das Sperrgebiet Δf erhält man

$$\cos\text{h}\,\frac{\beta}{2} = \pm\eta = \pm\frac{f \cdot \Delta f}{f_r^2 - f^2}. \tag{76}$$

Für $\eta = \pm 1$ wird wiederum $\omega = \omega_0$ bzw. $\omega = \omega_u$. Die Diagramme Fig. 6 und 7 gelten daher auch hier.

Aus Gl. (34) ergibt sich:

$$\frac{\omega}{\omega_r} = \mp\frac{1}{4}\sqrt{\frac{L}{M}} \pm \frac{1}{4}\sqrt{\frac{L}{M} + 16}. \tag{77}$$

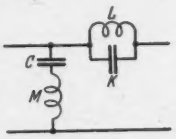


Fig. 17. Grundsätzliche Leiteranordnung der Bandsperre.

Infolge des stets positiven Vorzeichens von ω/ω_r erhält man für die beiden Grenzfrequenzen:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\omega_0}{\omega_r} &= \frac{1}{4}\sqrt{\frac{L}{M}} + \frac{1}{4}\sqrt{\frac{L}{M} + 16}, \\ \frac{\omega_u}{\omega_r} &= -\frac{1}{4}\sqrt{\frac{L}{M}} + \frac{1}{4}\sqrt{\frac{L}{M} + 16}. \end{aligned}\right\} \tag{78}$$

Weiter folgt

$$\frac{\omega_0 - \omega_u}{\omega_r} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{L}{M}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{C}{K}}, \tag{79}$$

$$\frac{\omega_0\,\omega_u}{\omega_r^2} = \frac{f_0\,f_u}{f_r^2} = 1, \tag{80}$$

sowie

$$\left.\begin{aligned} \Delta f &= \frac{1}{4\pi\sqrt{M\,K}}, \\ f_0 &= \sqrt{\frac{(\Delta f)^2}{4} + f_r^2} + \frac{\Delta f}{2}, \\ f_u &= \sqrt{\frac{(\Delta f)^2}{4} + f_r^2} - \frac{\Delta f}{2} \end{aligned}\right\} \tag{81}$$

oder

$$f_0 = f_m + \frac{\Delta f}{2}, \quad f_u = f_m - \frac{\Delta f}{2}. \tag{82}$$

Bei schmalem Sperrbereich, d. h. wenn $\Delta f \ll f_r$, fällt das arithmetische Mittel der Grenzfrequenzen nahezu mit dem geometrischen zusammen, d. h. es wird $f_m \approx f_r$.

Je kleiner L bzw. C, um so schmaler der Sperrbereich.

Die Lage der 3 Frequenzen zueinander ist die gleiche wie beim Bandpaß. Hier ist die Resonanzfrequenz jedoch nicht mit der Betriebsfrequenz identisch.

Aus Gl. (33) ergeben sich die beiden Lösungen $\omega = 0$ und $\omega = \infty$. Demnach erhält man 2 Durchlaßbereiche, deren einer von 0 bis f_u, während der andere von f_0 bis ∞ reicht. Beide sind durch den Sperrbereich zwischen f_u und f_0 getrennt.

Die Form

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{Z} &= \sqrt{\frac{L}{C}}\left(1-\frac{\left(\frac{\omega}{\omega_r}\right)^2\cdot\frac{L}{M}}{4\left[1-\left(\frac{\omega}{\omega_r}\right)^2\right]^2}\right)^{\mp\frac{1}{2}} \\ &= Z\left(1-\left[\frac{f\cdot\Delta f}{f_r^2-f^2}\right]^2\right)^{\mp\frac{1}{2}} \end{aligned}\right\} \quad (83)$$

zeigt folgende Eigentümlichkeiten. Ist $f \ll f_r$, also wenn die Betriebsfrequenz wesentlich unterhalb der mittleren Sperrfrequenz f_r liegt, so wird der Bruch in der Klammer $\ll 1$ und der Wellenwiderstand nimmt die Form $\mathfrak{Z} = \sqrt{L/C} = \sqrt{M/K} = Z$ an [vgl. Gl. (47) und (59)]. Ist $f \gg f_r$, so wird die Klammer ebenfalls $= 1$ und $\mathfrak{Z}$ nimmt den Wert Z an. Somit ergeben sich die Formeln

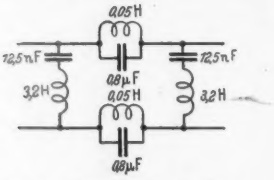


Fig. 18. Bandsperre (Beispiel).

soll zwischen 750 Hz und 850 Hz sperren. Gesucht L, K, M, C.

$$f_u = 750\,\text{Hz}, \quad f_0 = 850\,\text{Hz} \quad (f_r \approx 800\,\text{Hz}).$$

Gefunden wird $M = 1{,}6$ H, $C = 25$ nF, $L = 0{,}1$ H, $K = 0{,}4$ µF. Fig. 18 zeigt die praktische Ausführung nebst der Verteilung der gefundenen Werte auf die einzelnen Zweige.

Der Verlauf des Dämpfungsmaßes β in Neper in Abhängigkeit von der Frequenz ist aus Fig. 19 erkennbar.

Wäre die Betriebsfrequenz $f = 1000$ Hz, so ergäbe sich $\sqrt{L/C} = 1920\,\Omega$, und hiermit fände man um etwa 4% niedrigere Werte für die Induktivitäten und um ebensoviel höhere Beträge für die Kapazitäten.

In Fig. 20 endlich ist ein Diagramm dargestellt, aus dem die Werte L, C, M, K bei dem häufig vorkommenden Verbraucherwiderstand von

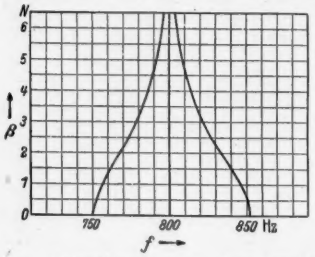


Fig. 19. Dämpfungskurven einer Bandsperre.

$$\left.\begin{aligned} L &= \frac{\Delta f\cdot Z}{\pi f_0 f_u}, & K &= \frac{1}{4\pi\Delta f Z}; \\ M &= \frac{Z}{4\pi\Delta f}, & C &= \frac{\Delta f}{\pi f_0 f_u Z}. \end{aligned}\right\} \quad (84)$$

Für $Z = 600\,\Omega$ kann man L, K, M, C wiederum aus den Kurven Fig. 20 entnehmen. Man hat dazu jedoch für L und C statt f_0 den Wert $f_r^2/\Delta f$ als Abszisse zu setzen, für M und K statt f_u die Differenz Δf.

Ist f nicht $\ll f_r$ oder $\gg f_r$, so setzt man in Gl. (83) die Größe $\mathfrak{Z}$ gleich dem Anpassungswiderstand und berechnet $\sqrt{L/C}$. Dieser Betrag ist dann an Stelle von Z in die Gl. (84) einzusetzen. Ist jedoch eine Betriebsfrequenz überhaupt nicht gegeben, so ist wiederum je nach Dreieck- oder Sternschaltung $Z = 0{,}8\,R$ bzw. $1{,}25\,R$ zu wählen (vgl. S. 342).

Beispiel: Kettenglied in Dreieckform, angepaßt an 2000 Ω, Betriebsfrequenz 10000 Hz, 600 Ω für die vier besprochenen Kettenleiterarten gemäß den an den entsprechenden Stellen gegebenen Anweisungen direkt entnommen werden können, vorausgesetzt, daß die Bedingungen erfüllt sind, unter denen $\mathfrak{Z} = Z = 600\,\Omega$ gesetzt werden kann. Da die Beziehungen zwischen den Kapazitäts- und Induktivitätsgrößen einerseits und der jeweiligen Grenzfrequenz (bzw. Frequenzdifferenz Δf und der Frequenzgröße $f_r^2/\Delta f$) alle von der Form $x\,y = \text{const.}$, also Hyperbelgleichungen sind, so entstehen im logarithmischen Koordinatennetz gerade Linien, die gegen die Achsen um $\pi/4$ geneigt sind und daher auch eine Vertauschung der Achsen gestatten. Wie man sofort sieht, ist der Kurvenverlauf im linken oberen und im rechten unteren Dekadenquadrat der logarithmischen Teilung der gleiche. In derselben Weise wiederholen sich auch die beiden anderen Quadrate bei Fortsetzung der Kurvenschar nach links oben und rechts unten. Daher kann man auch Werte außerhalb des dargestellten Bereiches zwischen 100 und 10000 Hz sowie zwischen 0,01 H und 1 H (bzw. µF) durch Benutzung der dargestellten Kurvenäste und Multiplikation der abgelesenen Werte mit sinngemäß gewählten Zehnerpotenzen ermitteln. In dem auf S. 345 gegebenen zweiten Beispiel ist nur der Wert für K direkt ablesbar, die übrigen sind in der

angegebenen Weise durch Übergang in ein anderes Dekadenquadrat extrapoliert.

Sind bei einer Sieb- oder Sperrkette die Eigenfrequenzen der beiden Schwingungssysteme nicht gleich, so ergibt sich im ersten Fall ein Lochsieb mit 2 Durchlaßbereichen (Doppelsieb), zwischen denen ein Sperrbereich geringerer Dämpfung liegt. Im zweiten Falle hat man es mit einem Sperrsieb zu tun, zwischen dessen beiden Sperrbereichen ebenfalls ein solcher von geringerer Dämpfung liegt.

Läßt man bei den besprochenen Sieb- und Sperrketten die eine oder andere der Komponenten L, M, K, C weg, so ergeben sich weitere Siebe, bei denen jedoch die dämpfende Wirkung in den Sperrbereichen zum Teil weniger ausgeprägt ist als bei den besprochenen Schaltungen. Andere Formen von Bandpässen (Bandfilter) finden ausgedehnte Anwendung in der Rundfunktechnik.

Sind die Endwiderstände komplex, so teilt man sie in ihre reellen und imaginären Bestandteile auf, schlägt den imaginären Teil zum Kettenleiter und betrachtet den reellen Teil als Anpassungswiderstand.

Sind die beiderseitigen Außenwiderstände verschieden, so passe man an den Erzeugerwiderstand R_1 an. Der Verbraucherwiderstand R_2 wird dann über einen Anpassungstransformator mit dem Übersetzungsverhältnis $\sqrt{R_1/R_2}$ angeschlossen.

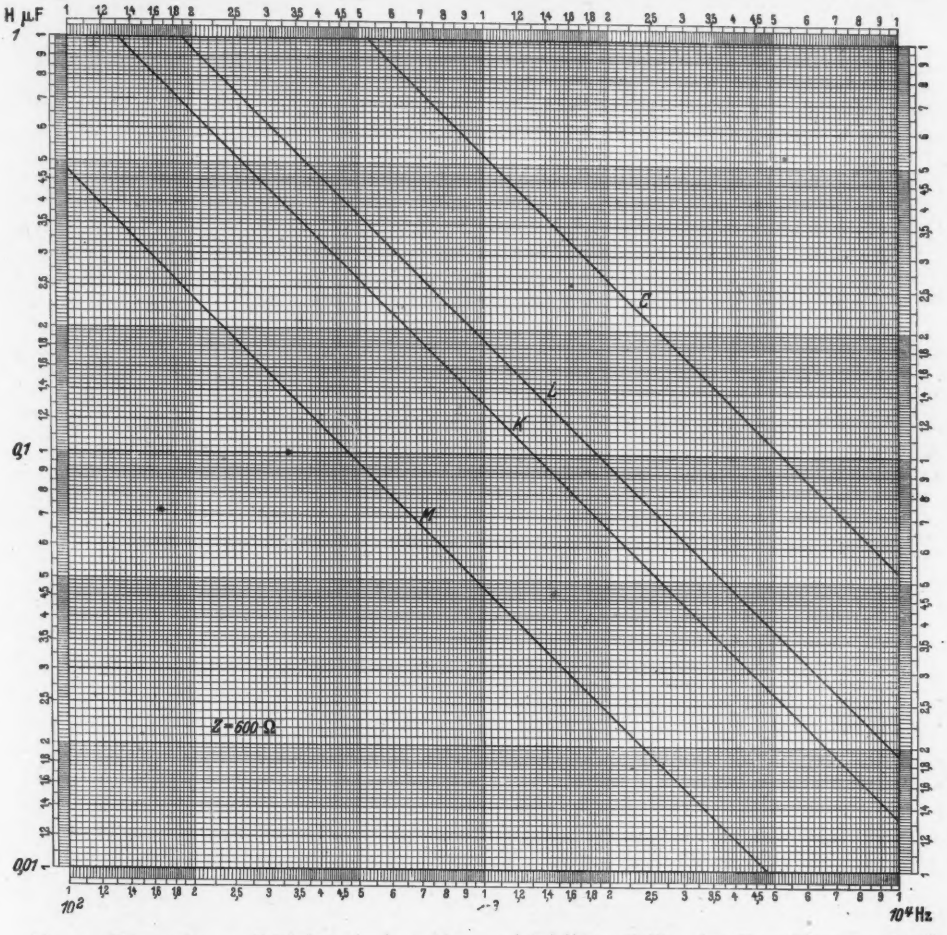


Fig. 20. Kurvenschar zur Ermittlung der kapazitiven und induktiven Größen eines Kettenleiters von 600 Ω Anpassungswiderstand.

In diesem Falle lassen sich auch inhomogene Ketten verwenden, deren einzelne, unsymmetrische Glieder, um Energiereflexionen zu vermeiden, aneinander angepaßt sind. Zu ihrer Berechnung ist nur eine relativ geringe Erweiterung des hier angegebenen Verfahrens erforderlich[4]). Sind die aufeinanderfolgenden Glieder jedoch ganz willkürlich gewählt, so gibt es keine andere Möglichkeit, als schrittweise die Ströme in den einzelnen Maschen des Netzes zu berechnen. Für diese weniger häufig verwendeten Sonderfälle, ferner für die Berechnung besonderer Zwecke, z. B. günstigere Anpassungsverhältnisse durch Ebnung des Wellenwiderstandes im Lochbereich sowie der Maßnahmen zur Erzielung größerer Flankensteilheit, muß auf die Spezialliteratur verwiesen werden.

Literatur.

H. BACKHAUS, Über Siebketten und deren Anschluß an Leitungen. Wiss. Veröff. Siemens-Werk 3, 101 (1924). — Über Siebketten. Wiss. Veröff. Siemens-Werk 4, 33 (1925). — Theorie der kurzen Siebketten. Z. Hochfrequenztechn. 24, 11, 39, 53 (1925). — G. A. CAMPBELL, Physical theory of the electric wave filter. Bell Syst. techn. J. 1, 1 (1922). — W. CAUER, Siebschaltungen. Berlin: VDI-Verlag 1931. — Theorie der linearen Wechselstromschaltungen. Leipzig: Becker u. Erler 1941. — R. FELDTKELLER, Einführung in die Siebschaltungstheorie. Leipzig: S. Hirzel 1939. — H. GOERING, Über Resonanzkurven von Siebketten. Arch. Elektrotechn. 17, 316 (1927); 19, 312 (1928). — H. RIEGGER, Über Kettenleiter. Wiss. Veröff. Siemens-Werk 1, 126 (1922); 3, 190 (1923). — H. SCHULZ, Theorie der elektrischen Schwingungssiebe. Telegr. u. Fernspr.-Techn. 18, 31, 66, 179 (1929). — K. W. WAGNER, Die Theorie des Kettenleiters nebst Anwendungen. Arch. Elektrotechn. 3, 315 (1915). — Spulen- und Kondensatorleitungen. Arch. Elektrotechn. 8, 61 (1923). — Kettenleiter und Wellensiebe. Elektr. Nachr.-Techn. 5, 1 (1928). — O. ZOBEL, Theorie and Design of uniform and composite electric wave filters. Bell Syst. techn. J. 2, 1 (1923). — Transmission characteristics of electric wave filters. Bell Syst. techn. J. 3, 567 (1924).

Erbleiden beim Tier in ihrer Bedeutung für die menschliche Erbpathologie.[1])

Von HANS NACHTSHEIM, Berlin-Dahlem.

Während das Studium der Erbkrankheiten des Menschen im letzten Jahrzehnt einen starken Aufschwung genommen hat, sind unsere Kenntnisse über die Erbleiden der Tiere noch äußerst dürftig. Selbst wenn wir das, was wir über derartige Krankheiten *aller* Haustierarten wissen, zusammennehmen, bleibt unser Wissen weit hinter dem zurück, was für die *eine* Spezies Mensch bekannt ist. Das könnte zu der Frage führen, ob sich vielleicht Mensch und Tier hinsichtlich der Erbkrankheiten prinzipiell verschieden verhalten. Neigt der Kulturmensch mehr zu Erbleiden als das Haustier? Die Frage ist mit einem Nein zu beantworten. Wenn der Mensch von Erbleiden häufiger heimgesucht zu werden scheint als das Tier, so liegt das, wenn ich so sagen darf, an der Verschiedenartigkeit der Züchtung. Beim Kulturmenschen ist die Zuchtwahl in Wegfall gekommen; die durch Mutation entstandenen und immer wieder neu entstehenden krankhaften Erbanlagen haben sich erhalten, vermehren und ausbreiten können. Beim Haustier *entstehen* die Erbkrankheiten in gleicher Weise. Aber das Haustier wird strengster Zuchtwahl unterworfen. Alle Individuen mit irgendwie krankhaften Erscheinungen, mögen diese nun erblicher oder nichterblicher Natur sein, merzt der Züchter aus der Zucht aus, und dadurch wird die Ausschüttung krankhafter Erbanlagen unterbunden. Freilich — eine restlose Ausmerzung der pathogenen Anlagen ist auf diesem Wege nur in den seltensten Fällen möglich. Nur dann ist bei der von dem Züchter angewandten Methode mit einem vollen Erfolg zu rechnen, wenn das Leiden einen einfach-dominanten Erbgang aufweist und *eine* Dosis des Gens genügt, um die Krankheit oder Anomalie stets manifest werden zu lassen. Bei rezessiven Leiden werden durch die Ausmerzung der kranken Individuen nur die homozygoten Träger des krankhaften Gens erfaßt, während das Heer der äußerlich gesunden heterozygoten Anlageträger das krankhafte Gen von Generation zu Generation weiterleitet und um so mehr ausbreitet, je weniger durch Inzucht die Möglichkeit zur Entstehung kranker Homozygoten geschaffen wird. Aber auch dominante Leiden trotzen oftmals ihrer völligen Elimination, wenn nämlich die Dominanz nur eine teilweise ist, wenn Manifestationsschwankungen dazu führen, daß mehr oder weniger häufig Individuen entstehen, die trotz des Besitzes des dominanten Gens normal sind. Tatsächlich läßt sich unschwer beweisen, daß in allen unseren Haustierstämmen Erbleiden keineswegs selten sind, es müssen nur Mittel und Wege gefunden werden, sie zu erfassen. So habe ich für das Kaninchen bei systematischer Fahndung innerhalb kurzer Zeit mehr als 20 Erbleiden nachweisen und größtenteils in experimentelle Bearbeitung nehmen können, eine Zahl, die sich innerhalb der gleichen Zeit leicht hätte vervielfachen lassen, wenn für einen Einzelnen die Möglichkeit der gleichzeitigen experimentellen Bearbeitung eines so umfangreichen Materials gegeben wäre.

[4]) H. SALINGER, Z. Fernmeldetechn. 5, 6, 15 (1924).

[1]) Aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Anthropologie, menschliche Erblehre und Eugenik (Direktor: Prof. Dr. O. Freiherr v. VERSCHUER), Abteilung für experimentelle Erbpathologie (Leiter: Prof. Dr. H. NACHTSHEIM). Das Manuskript wurde Anfang April 1944 abgeschlossen.

Für die rassenhygienische Betreuung unserer Haustierstämme ist die genaue Kenntnis ihrer Erbkrankheiten eine notwendige Vorbedingung. Aber nicht von dieser wirtschaftlichen Bedeutung der Erforschung der tierischen Erbleiden für die Tierzucht soll hier die Rede sein, es soll vielmehr die Aufmerksamkeit auf die Bedeutung gelenkt werden, die das vergleichend-experimentelle Studium der tierischen Erbleiden für die menschliche Erbpathologie hat.

Der mit Tieren arbeitende Erbforscher ist dem Humangenetiker gegenüber in einer wichtigen Hinsicht im Vorteil: ihm steht das *Züchtungsexperiment* zur Verfügung. Wenn auch die Humangenetik im Laufe der Zeit wertvolle Methoden entwickelt hat — es sei nur an die Zwillingsmethode erinnert —, so vermögen doch alle das Züchtungsexperiment nicht zu ersetzen, die Methode, ohne die die Entwicklung der modernen Genetik zu ihrer heutigen Höhe ganz undenkbar ist. Aber Mensch und Tier sind gleichen Vererbungsgesetzen unterworfen, und nicht nur das, es entstehen auch bei Mensch und Tier durch die gleiche Mutation oftmals die gleichen Erbkrankheiten, und bei einer vergleichenden Betrachtung menschlicher und tierischer Erbleiden sind wir immer wieder überrascht über die vielfältige Parallelität der Erscheinungen. Das gibt uns die Möglichkeit, Fragen, die wir mit Hilfe der Methoden menschlicher Erbforschung nicht oder nur unbefriedigend beantworten können, am Tier experimentell zu prüfen und so die bestehenden Lücken zu schließen.

Seit einer Reihe von Jahren habe ich derartige *Modellversuche am Tier* im Gange. An der Hand einiger Beispiele aus meinen Versuchsserien möchte ich zu zeigen versuchen, wie weit die Parallelität zwischen Mensch und Tier geht, welcher Art die Probleme sind, die die vergleichende und experimentelle Erbpathologie vor sich hat, und wie sich diese in Angriff nehmen lassen.

Unterentwicklung der Incisiven.

Das erste Beispiel ist eine für Mensch und Tier harmlose Anomalie. Die Zahngattungen, die bei Mensch und Kaninchen am häufigsten erblich variieren, sind die zweiten Schneidezähne des Oberkiefers (I^2) sowie die letzten Backenzähne in Ober- und Unterkiefer (M^3 und M_3). Über die Art der Vererbung des Fehlens der 3. Backenzähne wissen wir noch wenig. Hier soll uns nur das Fehlen bzw. die Unterentwicklung der I^2 beschäftigen[2]). Bei Mensch und Kaninchen ist diese Anomalie ein ausgesprochenes Domestikationsmerkmal. Während bei primitiven Menschenrassen eine Rückbildung der I^2 kaum je zu finden oder doch äußerst selten ist, sind bei den

Tabelle 1. Fehlen und Unterentwicklung der I^2 beim Menschen.

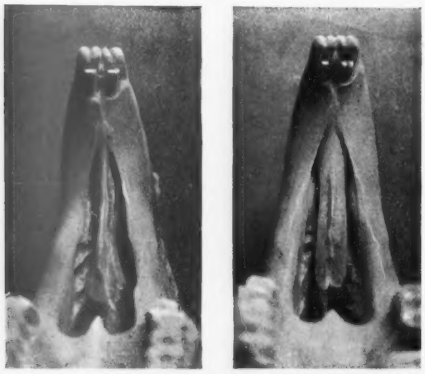
Untersuchte Population	Zahl der untersuchten Individuen	Individuen mit I^2-Defekten		Autor
		n	%	
Deutsche (Heerespflichtige)	10766	309	2 9	RÖSE 1906
Schweden (Soldaten)	1484	87	5.9	RÖSE 1906
Schweizer (Inzuchtgebiet!)	162	54	33.3	JÖHR 1934
USA-Weiße	1000	52	5.2	HRDLIČKA 1921
Japaner	172	10	5,8	HRDLIČKA 1921
Chinesen	651	51	7,8	HRDLIČKA 1921
USA-Neger (Mulatten)	807	44	5.5	HRDLIČKA 1921
Afrika-Neger	473	7	1,5	RÖSE 1906
Bantu	132	—	0	SHAW 1931
Melanesier	667	—	0	SCHWARZ 1925
Ureinwohner Australiens	630	—	0	CAMPBELL 1925

Kulturrassen rudimentäre oder fehlende I^2 eine sehr häufige Erscheinung. In Tab. 1 habe ich die Ergebnisse einiger diesbezüglicher Untersuchungen zusammengestellt. Die höchsten Zahlen gibt JÖHR für ein Schwyzer Bergdorf an; er untersuchte die gesamte Bevölkerung dieses Inzuchtgebietes und fand nicht weniger als ein Drittel mit Reduktionserscheinungen an den oberen seitlichen Schneidezähnen behaftet. Im allgemeinen liegt die Zahl der Merkmalsträger bei den Weißen Europas und Amerikas zwischen 3 und 6%. Bei Japanern und Chinesen wurden ähnlich hohe Zahlen festgestellt, ebenso bei den Negern Nordamerikas, die ja größtenteils Mulatten sind. Bei den reinen Negern Afrikas hingegen beträgt der Prozentsatz nur 1,5, und bei den Bantu, den Melanesiern und den Ureinwohnern Australiens wurde bisher das Fehlen bzw. die Unterentwicklung der I^2 überhaupt noch nicht nachgewiesen.

Die Parallele zu diesem unterschiedlichen Verhalten zwischen Kultur- und Naturmensch bieten Haus- und Wildkaninchen. Tab. 2 und 3 geben die von mir an nahezu 1000 Kaninchenschädeln verschiedener Populationen gefundenen Zahlen wieder, wozu noch bemerkt sei, daß in diesem Falle nur Individuen mit *Fehlen* der I^2 berücksichtigt wurden, nicht solche mit unterentwickelten I^2. Hätten wir diese letzteren mit aufgenommen, so würden sich die Zahlen für die Hauskaninchen mehr als verdoppeln, während bei den Wildkaninchen nur in einem Falle eine Unterentwicklung eines I^2 zu verzeichnen war, und zwar bei dem australischen Wildkaninchen, dessen linker I^2 fehlte. Die untersuchten Hauskaninchen waren sämtlich von Züchtern stammende Tiere aller in Deutschland gezüchteten Rassen, also Tiere, bei denen nicht etwa auf das Fehlen der I^2 hin gezüchtet wurde; da die I^2 beim lebenden Kaninchen nicht ohne weiteres zu

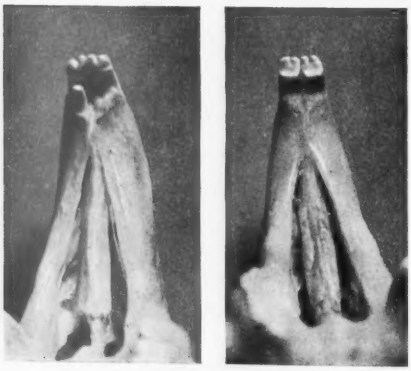
[2]) Auf die Streitfrage, ob die heutigen I^2 von Mensch und Kaninchen auch phylogenetisch als homologe Zähne zu betrachten sind, gehe ich an dieser Stelle nicht ein.

sehen sind — sie liegen als kleine stiftförmige Zähne hinter den I^1, den großen Nagezähnen des Oberkiefers (Fig. 1) —, weiß der Züchter kaum je über ihre Beschaffenheit bei seinen Tieren Bescheid. Im Durchschnitt fehlen die I^2 ein- oder



a) b)

Fig. 1.



c) d)

Fig. 2.

Fig. 1 u. 2. Oberkiefer von Kaninchen, Unterseite mit den großen und kleinen Nagezähnen (I^1 und I^2). a) Deutsches Riesenkaninchen mit normalen I^2, Durchmesser je 1,8 mm. b) Deutsches Riesenkaninchen mit unterentwickeltem rechtem I^2, Durchmesser 1,2 mm; normaler linker I^2 Durchmesser 2,0 mm. c) Deutsches Widderkaninchen mit fehlendem linkem I^2; rechter I^2 Durchmesser 1,6 mm. d) Englisches Widderkaninchen mit fehlenden I^2 beiderseits.

beidseitig bei 5,4% der untersuchten Hauskaninchen, denen 0,4% der Wildkaninchen gegenüberstehen. Bei den Hauskaninchen wurden die Rassen der Größe nach in drei Gruppen eingeteilt, Riesen, Mittelrassen und kleine Rassen einschließlich der Zwerge. Je größer die Rasse, d. h. je mehr sich das Hauskaninchen im Merkmal Größe im Laufe der Domestikation gegenüber dem Wildtyp verändert hat, um so häufiger ist das Fehlen der I^2 in unserem Material; bei der Zwergrasse, dem Hermelin, das hinsichtlich der Größe dem ursprünglichen mediterranen Wildkaninchen am nächsten steht, fand ich kein Individuum mit fehlendem oder auch nur unterentwickeltem I^2. Anderseits waren die beiden Wildtiere, denen die I^2 einseitig fehlen, *keine* primären Wildkaninchen; das Tier mit fehlendem linken und rudimentärem rechten I^2 war ein australisches Wildkaninchen, stammt also von verwilderten Hauskaninchen ab, das zweite war aus Oberschlesien, und auch in diesem Falle muß mit der Möglichkeit einer Abstammung vom Hauskaninchen gerechnet werden.

Zwischen der normalen Entwicklung und dem Fehlen der I^2 gibt es alle Stufen der Rudimentierung. Beim Menschen tritt als erste Stufe der Rückbildung eine Miniaturform auf, d. h. es bleibt der typische Schneidezahn in seiner Form erhalten, nur mehr oder weniger verkleinert (Fig. 3). Weiter wird dann aus dem Schneidezahn eine primitive Kümmerform, der Zapfen- oder Kegelzahn (Fig. 4), bis schließlich in der Reihe auch dessen Entwicklung unterbleibt (Fig. 5). Beim Kaninchen sind zwar die I^2 schon normalerweise nur kleine Stiftzähne (Fig. 1a), aber auch hier beobachtet man einen kontinuierlichen Rückbildungsprozeß bis zum gänzlichen Fehlen der Zähne (Fig. 1b—2d). Beim Deutschen Rie-

Tabelle 2. Fehlen der I^2 beim Hauskaninchen.

Rassengruppe	Zahl der untersuchten Individuen	Fehlen der I^2			Σ	%
		links	rechts	beiderseitig		
Riesenrassen	70	2	2	3	7	10
Mittelgroße Rassen	189	2	6	5	13	6,9
Kleine Rassen....	164	2	1	—	3	1,8
	423	6	9	8	23	5,4

Tabelle 3. Fehlen der I^2 beim Wildkaninchen.

Rassenkreis	Zahl der untersuchten Individuen	Fehlen der I^2			Σ	%
		links	rechts	beiderseitig		
Mediterrane Wildkaninchen.....	262	—	—	—	—	0
Mitteleuropäische Wildkaninchen .	179	—	1	—	1	0,6
Australische Wildkaninchen.....	78	1	—	—	1	1,3
Kerguelen-Wildkaninchen.....	30	—	—	—	—	0
	549	1	1	—	2	0,4

sen, der größten Kaninchenrasse, beträgt der Durchmesser des normalen Stiftzahnes 1,6 bis 2,0 mm. Der Unterschied zwischen links und rechts geht beim einzelnen Individuum kaum je über 0,2 mm hinaus, ist er größer, so weist dies schon auf einen Beginn des Rückbildungsprozesses hin. Bei dem in Fig. 1 b wiedergegebenen Schädel eines Deutschen Riesen ist der linke I^2 mit 2 mm Durchmesser normal, der rechte mit nur 1,2 mm stark rudimentär. 0,9 mm ist der geringste Durchmesser, den ich bei dem rudimentären I^2 eines ausgewachsenen Kaninchens messen konnte. Beim Jungtier läßt sich aber der Rückbildungsprozeß noch weiter verfolgen. Es kommt vor, daß als I^2 der zweiten Dentition nur noch ein fadendünnes Zahngebilde entsteht, das natürlich gänzlich funktionsunfähig ist und auch innerhalb ganz kurzer Zeit wieder verloren geht. Seine Existenz läßt sich am lebenden Tier nur bei einer genauen Verfolgung des Zahnwechsels nachweisen.

Fig. 3.

Fig. 4.

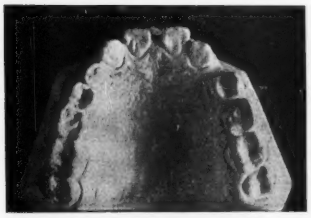


Fig. 5.

Fig. 3 bis 5. Unterentwicklung und Fehlen der I^2 bei Geschwistern, und zwar eineiigen männlichen Zwillingen (Fig. 3 u. 5) und jüngerem Bruder (Fig. 4). Bei dem einen Zwilling (Fig. 3) sind die I^2 sehr klein, haben aber normale Form, bei dem jüngeren Bruder (Fig. 4) sind die I^2 als Zapfenzähne entwickelt, bei dem anderen Zwilling (Fig. 5) fehlen sie beiderseits. (Nach RITTER 1937.)

Fehlen und Unterentwicklung der I^2 des bleibenden Gebisses — vom Milchgebiß wird später noch die Rede sein — werden bei Mensch und Kaninchen einfach-dominant vererbt. Wenn wir auch für den Menschen heute diese kategorische Feststellung machen können, so ist dies nur dank der eingehenden experimentellen Analyse möglich, die sich beim Kaninchen hat durchführen lassen. Aus den Ergebnissen dieser (noch unveröffentlichten) Untersuchungen an mehreren tausend Tieren sei hier Folgendes mitgeteilt.

Das Gen, das für das Fehlen und die Unterentwicklung der oberen 2. Schneidezähne zweiter Dentition verantwortlich ist — geben wir ihm das Symbol I^2 —, ist in seiner Wirkung sehr *entwicklungslabil*. *Eine* Dosis des Gens genügt, um die Entwicklung der I^2 vollständig zu unterdrücken. Aber dies ist bei Mensch und Tier durchaus nicht bei allen Individuen der Fall, die Träger des Gens sind. Die Wirkung des Gens kann auch so schwach sein oder, genauer ausgedrückt, so spät in der Entwicklung einsetzen, daß normale I^2 zustandekommen. Beim Kaninchen kann der hemmende Einfluß des I^2-Gens dann noch dadurch zum Ausdruck kommen, daß der Zahnwechsel verzögert wird; infolge der verlangsamten Entwicklung der I^2 des bleibenden Gebisses gehen die des Milchgebisses später verloren. Für den Menschen fehlt bisher hinreichendes Beobachtungsmaterial, um zu beurteilen, ob auch hier bei schwacher bzw. spät einsetzender Genwirkung eine morphologische Beeinflussung des Zahnes unterbleiben kann, das Gen sich aber noch physiologisch in einer Verzögerung des Zahnwechsels zu äußern vermag. Zwischen diesen Extremen der Genwirkung — völlige Unterdrückung der I^2 und verspätete Entwicklung normaler I^2 — sind alle die Übergänge möglich, wie sie oben beschrieben wurden. So entsteht ein vielfältiges Erscheinungsbild, und zwar nicht nur interindividuell, sondern auch intraindividuell, indem zwischen der linken und rechten Seite eines Individuums die Unterschiede ebenso groß sein können wie zwischen verschiedenen Individuen mit dem gleichen Genotypus.

Um einen Überblick zu geben über den Umfang der Variabilität, habe ich in Tab. 4 die Verhältnisse bei 825 Kaninchen mit I^2-Defekten zusammengestellt. Zunächst ist aus der Tabelle ersichtlich, daß sich die beiden Geschlechter im wesentlichen gleich verhalten. Bei 335 Tieren beider Geschlechter, d. h. 40,61%, ist der Rückbildungsprozeß symmetrisch vor sich gegangen, indem die I^2 entweder beiderseits ganz fehlen oder beiderseits in rudimentärer Form vorhanden

Tabelle 4. Variabilität der Unterentwicklung der I^2 bei 825 Kaninchen.

Kombinationen Links—Rechts	♀♀			♂♂			Σ		
	n	%	Differenz L—R	n	%	Differenz L—R	n	%	Differenz L—R
I^2 links fehlend ..... / I^2 rechts normal.....	77	18,87	+ 6,62	71	17,03	+ 1,20	148	17,94	+ 3,88
I^2 rechts fehlend ..... / I^2 links normal.....	50	12,25		66	15,83		116	14,06	
I^2 links rudimentär... / I^2 rechts normal	45	11,03	+ 3,68	37	8,90	— 0,45	82	9,94	+ 1,58
I^2 rechts rudimentär.. / I^2 links normal.....	30	7,35		39	9,35		69	8,36	
I^2 links fehlend ..... / I^2 rechts rudimentär..	22	5,39	+ 2,45	23	5,52	+ 1,20	45	5,45	+ 1,81
I^2 rechts fehlend ..... / I^2 links rudimentär...	12	2,94		18	4,32		30	3,64	
I^2 beiderseits rudiment.	14	3,43		17	4,08		31	3,76	
I^2 beiderseits fehlend..	158	38,73		146	35,01		304	36,85	
	408	99,99		417	100,04		825	100,00	

sind. Verschiedene Grade der Rudimentierung wurden hierbei nicht unterschieden, da ein großer Teil der Tiere nur lebend untersucht werden konnte, exakte Daten über den Rudimentierungsgrad aber nur durch Untersuchung von Schädelmaterial zu gewinnen sind. Aus dem gleichen Grunde wurde sicher manches nur lebend untersuchte Tier mit schwachen I^2-Defekten beiderseits nicht erfaßt. Bei 490 Tieren der Tab. 4, d. h. bei fast 60%, sind die I^2-Defekte asymmetrisch, und zwar ist auffällig, daß die linke Seite stärker befallen ist als die rechte; bei 275 Tieren sind die Defekte links stärker als rechts, gegenüber 215 Tieren, bei denen umgekehrt die rechte Seite stärker betroffen ist, ein Unterschied, der statistisch gesichert ist.

Der Grad des Rudimentierungsprozesses und das Verhältnis der symmetrischen zu den asymmetrischen Fällen ist nun aber in hohem Maße von der genetischen Zusammensetzung der untersuchten Population abhängig. *Ein* I^2-Gen ($I^2/+$) kann, wie gesagt, die Entwicklung beider I^2 vollständig unterdrücken, doch kann auch seine Wirkung so spät einsetzen, daß morphologische Unterschiede gegenüber einem Tier mit den normalen Allelen (+/+) nicht zustande kommen. Sind *zwei* I^2-Gene vorhanden (I^2/I^2), so summieren sich diese in ihrer Wirkung, die Variationskurve der Homozygoten ist gegenüber der der Heterozygoten stark nach der Minusseite verschoben. Lassen sich homozygote und heterozygote I^2-Tiere auch nicht individuell ohne weiteres unterscheiden, so ist es doch möglich, die Homozygoten an ihrer Nachkommenschaft zu erkennen. In einem reingezüchteten I^2-Stamm haben weitaus die meisten Tiere keine I^2, während Individuen mit zwei normalen I^2 ganz selten sind. So haben wir in den letzten Jahren einen sicher homozygoten Rammler, bei dem — ebenso wie bei seinen Eltern — beide I^2 fehlen, mit einer größeren Anzahl teils heterozygoter, teils homozygoter I^2-Häsinnen gepaart. Von 57 Nachkommen dieses Rammlers hatte kein einziges Tier normale I^2. Bei 42 Individuen, also fast 74%, fehlten sie vollständig, bei 12 von den 15 restlichen Individuen fehlten sie einseitig, nur bei 3 Individuen waren beide vorhanden, aber auf einer Seite rudimentär. Irgendeinen nachteiligen Einfluß hat das Vorhandensein des I^2-Gens in doppelter Dosis auf das Individuum nicht.

Die familiengeschichtlichen Untersuchungen zur Frage des Fehlens und der Unterentwicklung der I^2 beim Menschen sind leider noch sehr dürftig. Es handelt sich fast ausschließlich um Kasuistik, systematische Untersuchungen fehlen nahezu ganz. Manche Autoren berücksichtigen nur Individuen mit fehlenden, nicht die mit rudimentären I^2, bei anderen läßt sich den Angaben bei asymmetrischem Fehlen nicht entnehmen, welche Seite betroffen ist, bisweilen ist nur der Proband von dem Autor selbst untersucht worden, und er verläßt sich auf dessen Aussagen über die Zahnverhältnisse der übrigen Familienmitglieder. So läßt sich im einzelnen ein Vergleich mit den Verhältnissen beim Kaninchen noch nicht ziehen. Immerhin geht z. B. aus den schon erwähnten Untersuchungen von JÖHR so viel hervor, daß die Wirkung des I^2-Gens bei Mensch und Tier sehr ähnlich ist. Vielleicht wird das Merkmal in den Heterozygoten beim Menschen etwas häufiger und stärker manifest als beim Kaninchen. In der von JÖHR bearbeiteten Inzuchtpopulation dürften allerdings bei der starken Verbreitung des I^2-Gens auch Homozygoten unter den untersuchten Individuen sein. Bei der

starken Überschneidung der Variationskurven der Heterozygoten und der Homozygoten ist aber eine Sonderung nach dem Phänotypus nicht möglich. Irgendwie schädigend scheint eine doppelte Dosis des Gens auch beim Menschen nicht zu wirken. Wenn man das Fehlen der I^2 beim Menschen neuerdings mit der Hasenscharte in Verbindung gebracht und die Unterentwicklung der I^2 als eine „Mikromanifestation" der Erbanlage für Lippen-Kiefer-Gaumenspalte angesprochen hat, so ist hierzu zu sagen, daß das I^2-Gen sicher nichts mit der Hasenscharte zu tun hat. Möglich wäre natürlich, daß das Hasenscharten-Gen bei schwacher Wirkung sich ähnlich wie das I^2-Gen äußert. Bei der starken Verbreitung des I^2-Gens ist aber auch mit der Möglichkeit, ja Wahrscheinlichkeit zu rechnen, daß das Gen auch einmal in Sippen mit erblicher Hasenscharte vorkommt und daß dadurch ein Zusammenhang zwischen beiden Anomalien vorgetäuscht werden kann.

Alles bisher Gesagte gilt nur für die zweite Dentition, das bleibende Gebiß, auf das Milchgebiß hat das I^2-Gen keinen Einfluß. Unter den Tausenden von Kaninchen, die wir auf ihr Milchgebiß und im Zahnwechsel untersuchten, war kein einziges mit einer Anomalie der Milch-I^2. Ebenso haben beim Menschen Individuen mit unterentwickelten oder fehlenden I^2 im bleibenden Gebiß fast stets normale Milch-I^2. Immerhin sind für den Menschen einige Ausnahmen bekannt. Wir wissen indessen bisher nicht, ob in diesen Fällen nicht vielleicht ein anderes als das I^2-Gen im Spiele ist, oder ob ein zusätzliches Gen für die Beeinflussung auch der Milchzähne verantwortlich ist. Möglich wäre aber auch, daß beim Menschen die Wirksamkeit des I^2-Gens durchschnittlich schon etwas früher einsetzt als beim Kaninchen, und daß dann in den extremsten Fällen auch schon die erste Dentition von der Entwicklungshemmung betroffen werden kann. Um zwischen diesen verschiedenen Möglichkeiten entscheiden zu können, sind weitere Beobachtungen am Menschen erforderlich.

Die PELGER-Anomalie.

Das zweite Beispiel entnehmen wir den Blutkrankheiten. Es soll zeigen, daß bisweilen erst durch das Züchtungsexperiment die pathologische Bedeutung einer zunächst harmlos erscheinenden Anomalie erkannt werden kann.

Im Jahre 1928 entdeckte der holländische Tuberkulosearzt PELGER bei zweien seiner Patienten eine bis dahin unbekannte Abweichung im Blutbild, die in einer Hemmung der Segmentierung der Leukozytenkerne besteht. Während im normalen Blut nur 4% der Leukozytenkerne unsegmentiert („stabkernig") sind, die übrigen mehr oder weniger stark segmentiert, ist im „PELGER-Blut" etwa die Hälfte der Kerne unsegmentiert, die andere Hälfte einfachsegmentiert, Kerne mit drei Segmenten sind ganz selten, höhersegmentierte Kerne kommen so gut wie nie vor. Die Veränderung des Blutbildes erinnert an die sogenannte „Linksverschiebung", wie sie bei entzündlichen Prozessen beobachtet wird, ist aber im Gegensatz zu dieser ein zeitlebens bestehendes, konstitutionelles Merkmal. Außer dem Grade der Segmentierung ist auch die Struktur der Leukozytenkerne verändert, ihr Chromatin ist grobscholliger, stärker verklumpt als normalerweise. Diese Verklumpung des Chromatins ist vielleicht die Ursache der Segmentierungshemmung.

Die PELGER-Anomalie, wie sie nach ihrem Entdecker kurz benannt wird, stellt ein einfachdominantes erbliches Merkmal dar. Es sind heute bereits über 50 Sippen mit der Anomalie bekannt, 21 in der Schweiz, je 10 in Holland und Deutschland, die übrigen verstreut. Die Anomalie ist nicht auf die weiße Rasse beschränkt, auch bei Japanern, Chinesen und Malaien ist sie nachgewiesen. All das spricht dafür, daß die Mution, die zu dem PELGER-Gen führt, keineswegs selten ist.

Schon PELGER warf die Frage auf, welche Bedeutung der Anomalie zukommt. Da seine beiden Patienten, bei denen er das veränderte Blutbild entdeckte, an Tuberkulose erkrankt waren und bald darauf starben, schloß er auf einen Zusammenhang zwischen der Tuberkulose und dem abnormen Blutbild und betrachtete dieses als ein ungünstiges Zeichen für den Verlauf der Krankheit. In der Tat ist ungefähr die Hälfte der bisher bekannten PELGER-Sippen mit Tuberkulose belastet. Aber dabei ist zu bedenken, daß der Entdecker Tuberkulosearzt war und daß sich auch in der Folgezeit gerade Tuberkuloseärzte mit der Anomalie beschäftigten, so in den großen Tuberkuloseheilstätten der Schweiz. Überdies werden bei Tuberkulösen besonders häufig Blutuntersuchungen vorgenommen. Man dachte auch an Beziehungen der PELGER-Anomalie zu anderen krankhaften Zuständen des Blutes, ohne aber den Beweis für einen ursächlichen Zusammenhang erbringen zu können. Im allgemeinen war man neuerdings geneigt, die PELGER-Anomalie als eine harmlose Blutvariante zu betrachten, als ein „Spiel der Natur" ohne weitere klinische Erscheinungen. Freilich rechneten einige Autoren auf Grund von Phagozytoseversuchen doch mit der Möglichkeit einer schwächeren Abwehr von Schädigungen durch die PELGER-Zellen. Die Antwort auf die Frage nach der Bedeutung der PELGER-Anomalie für Individuum und Rasse haben die Tierversuche gegeben.

Dank einem glücklichen Zufall gelang dem Schweizer Hämatologen UNDRITZ, der selbst wertvolle Beiträge zur Kenntnis der PELGER-Anomalie beim Menschen geliefert hat, im Jahre 1938 die Entdeckung der PELGER-Anomalie auch beim Kaninchen. Unter 400 auf ihr Blutbild untersuchten Kaninchen fand er *eines* mit typischen PELGER-Zellen, und von diesem Tier,

einem Rammler, ausgehend konnte er die ersten PELGER-Kaninchen züchten, von denen er mir einige zu weiteren Zuchtversuchen überließ. Die Anomalie stimmt in allen wesentlichen Merkmalen mit der des Menschen überein (Fig. 6). Hier und dort sind die Kerne der Leukozyten, insbesondere der Neutrophilen, meist hantel- oder zwickerförmig oder bestehen aus zwei, bisweilen noch durch ein dünnes Fädchen verbundenen Segmenten mit stark pyknotischem Chromatin.

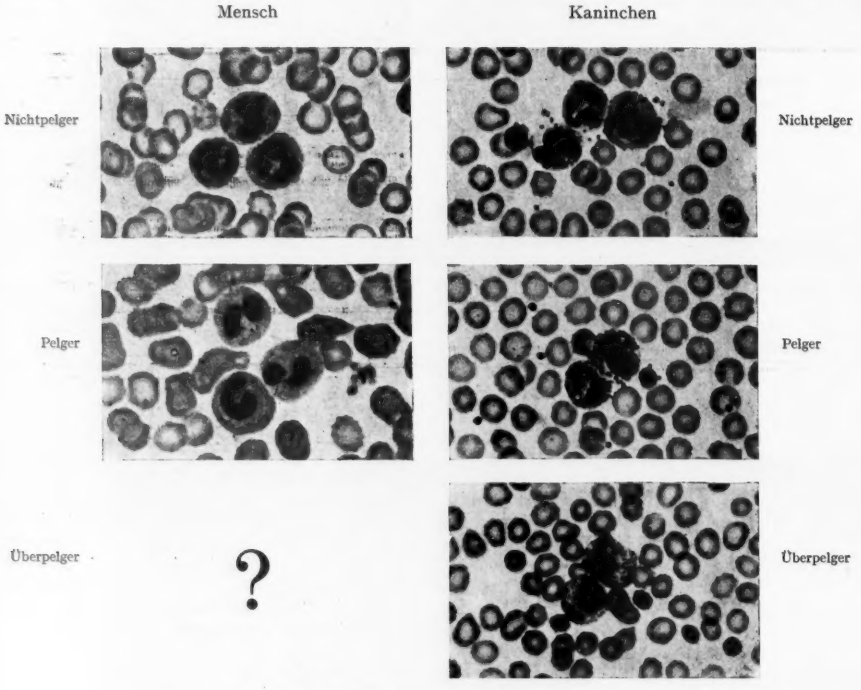


Fig. 6. Blutbilder von Mensch und Kaninchen.
In der Mitte jedes Bildes einige Leukozyten (Neutrophile), umgeben von Erythrozyten. Obere Reihe: Normal segmentierte Leukozyten (Nichtpelger); mittlere Reihe: Leukozyten der heterozygoten Pelger; untere Reihe: Leukozyten der homozygoten Pelger (Überpelger). Für den Menschen sind homozygote Pelger noch unbekannt.

Bei einzelnen Individuen findet man hin und wieder Kerne aus drei Segmenten bestehend, darüber hinaus aber geht die Segmentierung kaum jemals. In jedem Falle ist das Blutbild des Pelgers unschwer von dem des Nichtpelgers zu unterscheiden. Der Erbgang der PELGER-Anomalie entspricht beim Kaninchen ebenfalls dem beim Menschen, er ist einfach-dominant, und auch beim Kaninchen schien es zunächst, daß es sich um eine harmlose Blutvariante handelt.

Die beim Menschen bisher beobachteten Pelger sind nun aber hinsichtlich des PELGER-Gens (Pg) alle *heterozygot* (Pg/+). Ein homozygoter Pelger (Pg/Pg) könnte nur aus der Paarung zweier (heterozygoter) Pelger hervorgehen. Eine solche Verbindung ist indessen noch nicht nachgewiesen worden. Auch die ersten PELGER-Kaninchen waren, da sämtlich aus der Paarung von Pelger mit Nichtpelger entstanden, alle heterozygot. Theoretisch sind bei einer solchen Rückkreuzung des dominanten Heterozygoten (Pg/+) mit dem rezessiven Homozygoten (+/+) 50% Nichtpelger und 50% (wiederum heterozygote) Pelger zu erwarten. Die von mir in den letzten fünf Jahren gewonnenen Kreuzungsergebnisse sind geradezu ein Schulbeispiel für einfach-dominante Vererbung. In Tab. 5 sind diese Ergebnisse für die einzelnen Jahre und für die Gesamtzeit zusammengestellt. Unter 190 untersuchten RF_2-Jungen waren 94 Pelger und 96 Nichtpelger, ein Zahlenverhältnis, das von den theoretischen Zahlen (95:95) nur ganz geringfügig abweicht. In den einzelnen Jahren lag das Plus bald bei den Pelgern, bald bei den Nichtpelgern, stets lagen die Abweichungen von den theoretischen Zahlen innerhalb des einfachen mittleren

Tabelle 5. Pelger RF_2.

Jahr	Zahl der Würfe	Zahl der Jungen	Durchschnittliche Wurfgröße	Zahl der untersuchten Jungen	Empirische Zahlen P:NP	Theoretische Zahlen P:NP	D (± P)	m	D/m
1940	7	46	6,57	36	20:16	18:18	+ 2	± 2,98	0,67
1941	3	18	6	15	9: 6	7,5: 7,5	+ 1,5	± 1,90	0,79
1942	18	100	5,56	82	38:44	41:41	− 3	± 4,52	0,66
1943	7	39	5,57	39	17:22	19,5:19,5	− 2,5	± 3,09	0,81
1944[1])	3	19	6,33	18	10: 8	9 :9	+ 1	± 2,11	0,47
	38	222	5,84	190	94:96	95 :95	− 1	± 6,89	0,15

Tabelle 6. Pelger F_2.

Jahr	Zahl der Würfe	Zahl der Jungen	Durchschnittliche Wurfgröße	Zahl der untersuchten Jungen	Empirische Zahlen NP:P:ÜP	Theoretische Zahlen NP:P:ÜP	Zahl der zu untersuchenden Jungen	Durchschnittliche Wurfgröße
1941	7	34	4,86	27	7: 20: 0	9 : 18: 9	36	6,14
1942	21	116	5,52	100	37: 60: 3	32,5: 65: 32,5	130	6,95
1943	26	133	5,12	128	40: 82: 6	40,5: 81: 40,5	162	6,42
1944[1])	12	61	5,08	57	12: 44: 1	18,5: 37: 18,5	74	6,5
	66	344	5,21	312	96:206:10	100,5:201:100,5	402	6,58

Fehlers. Daraus ist zu schließen, daß das PELGER-Merkmal bei einfachem Vorhandensein des PELGER-Gens stets manifest wird und daß die vorgeburtliche Sterblichkeit der Pelger nicht größer ist als die der Nichtpelger.

Nach diesen Ergebnissen konnte man bei Paarung zweier heterozygoter Pelger in F_2 75% Pelger und 25% Nichtpelger, also ein 3 : 1-Verhältnis, erwarten. Tatsächlich erhält man ein 2 : 1-Verhältnis. Auf 206 Pelger kamen 96 Nichtpelger (Tab. 6), die zu erwartenden 25% homozygoten Pelger fehlen, sie sterben im Laufe der Embryonalentwicklung ab, das PELGER-Gen wirkt in doppelter Dosis letal. Die Letalität ist allerdings — glücklicherweise, darf man im Interesse der Erforschung der PELGER-Anomalie sagen — keine vollständige, ungefähr 10% der homozygoten Pelger erleben die Geburt, und an ihnen — bisher zehn Tieren — ließen sich die Wirkungen des PELGER-Gens in doppelter Dosis genau verfolgen.

Was zunächst das Blutbild der homozygoten Pelger anbetrifft, so ist bei ihnen die Segmentierungshemmung der Leukozytenkerne ins Extrem gesteigert, die Kerne sind völlig rund (Fig. 6), eine Kernform der weißen Blutkörperchen, wie sie bisher beim Säugetier noch nicht beobachtet worden ist. Der Mangel jeglicher Segmentierung gilt für alle Leukozytenarten, für Neutrophile, Eosinophile, Basophile, Monozyten und Lymphozyten (Fig. 7).

Während die Unterscheidung der heterozygoten Pelger und der Nichtpelger nur mit Hilfe des Blutbildes möglich ist, lassen sich die Überpelger, wie ich die homozygoten Pelger genannt habe, auch ohne Blutuntersuchung schon gleich bei der Geburt erkennen. Sie sind stets die leichtesten Tiere im Wurf, die vorgeburtliche Entwicklung ist gehemmt. Nach der Geburt macht sich diese Entwicklungshemmung noch mehr bemerkbar, die Überpelger bleiben stark hinter ihren Pelger- und Nichtpelger-Wurfgeschwistern zurück. Sehr schön demonstriert dies Fig. 8. Der Überpelger hatte bei der Geburt ein Gewicht von 40 g, sein Pelger-Wurfgeschwister von 65 g. Mit drei Monaten war der Pelger 1940 g, der Überpelger 340 g schwer, jener erreichte in dieser Zeit nahezu das Dreißigfache seines Geburtsgewichtes, während das Gewicht des Überpelgers sich nur um das Achteinhalbfache vergrößerte.

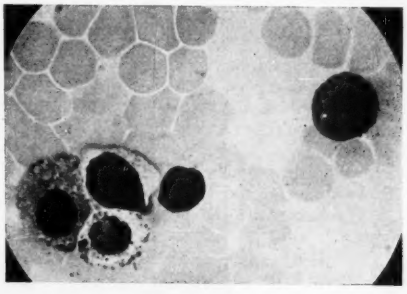


Fig. 7. Die verschiedenen Leukozytenformen beim homozygoten PELGER-Kaninchen. (Präp. NACHTSHEIM, phot. UNDRITZ).
Von links nach rechts: Eosinophiler, Monozyt (oben), Neutrophiler (unten), Lymphozyt, Basophiler. Alle Kerne sind gänzlich unsegmentiert und rund, das Chromatin ist stark pyknotisch.

[1]) Bis Mitte März 1944.

Das sicherste Kennzeichen der Überpelger schon bei der Geburt sind aber die mißgestalteten vorderen Extremitäten (Fig. 9). Insbesondere die einträchtigung der Funktionsfähigkeit der Extremität, die seitlich vom Körper abgehalten wird und in Aussehen und Bewegung an eine

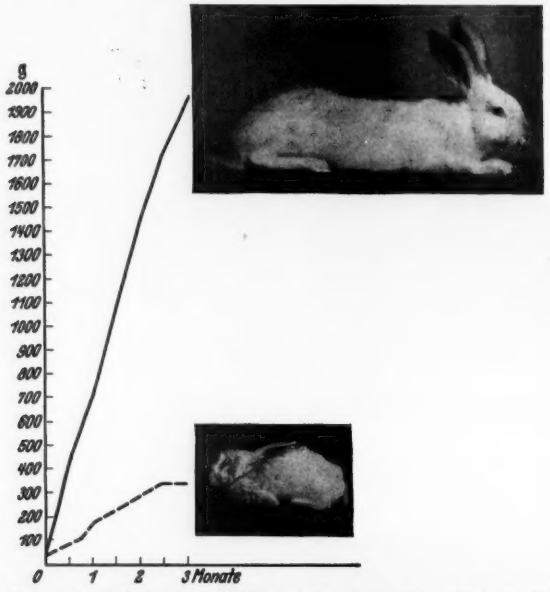


Fig. 8. Wachstumskurve von Pelger ♂ und Überpelger ♂, Wurfgeschwister. Die Photos geben die Tiere im Alter von drei Monaten wieder.

Fig. 9. Skelette der vorderen Extremitäten von Überpelger- und Nichtpeiger-Kaninchen, zwei Monate alt. Man beachte vor allem die Verkürzung und Verbiegung der Unterarmknochen sowie ihre Verdickung an den Enden beim Überpelger.

langen Röhrenknochen des Unterarms sind stark verkürzt, verbogen und umeinandergedreht und häufig miteinander verschmolzen sowie an den Enden verdickt. Das führt zu einer starken Be-

Flosse erinnert (Phokomelie), durch „Rudern" kann sich das Tier damit nur mühsam von der Stelle fortbewegen.

Weitere Symptome der Überpelger sind eine

Schorfbildung um Maul und Nase, starker Speichelfluß und eine extreme Magersucht. Die Vitalität der Tiere ist sehr gering, die meisten gehen in den ersten Lebenstagen oder -wochen unter den Erscheinungen einer völligen Auszehrung zugrunde. Immerhin gelang es, einen Überpelger ins geschlechtsreife Alter und sogar zur Fortpflanzung zu bringen. Bei Paarung des Überpelger-Rammlers mit einer Nichtpelger-Häsin lieferte diese einen Wurf von sechs Jungen, sämtlich Pelger. Damit ist auch züchterisch der Beweis erbracht, daß es sich bei den Überpelgern tatsächlich um homozygote Pelger handelt.

Die große Mehrzahl der homozygoten Pelger scheint schon auf einem frühen Stadium der Embryonalentwicklung abzusterben. Eine offene Frage ist noch, wie es kommt, daß etwa 10% den kritischen Punkt überwinden und die Geburt erreichen. Die Frage verdient deshalb noch besonderes Interesse, weil die überlebenden Überpelger nicht etwa wahllos in den F_2-Würfen vorkommen, sondern es sind bestimmte Häsinnen (und Rammler?), die die Überpelger geliefert haben. Die 66 in Tab. 6 verzeichneten F_2-Würfe mit 344 Jungen stammen von 24 Häsinnen. Nur vier von diesen aber haben in 17 Würfen mit 93 Jungen die zehn Überpelger gebracht. Anderseits haben neun Überpelger den gleichen Vater, der zehnte stammt von einem zweiten Rammler, während fünf Rammler keine Überpelger unter ihren Nachkommen hatten. Es muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben zu entscheiden, ob der Genotypus der Eltern Einfluß hat auf das Überleben der Überpelger, oder ob vielleicht irgendwelche in der Mutter gelegene Faktoren dafür verantwortlich sind.

Die Feststellungen am Kaninchen sind für die Beurteilung der PELGER-Anomalie beim Menschen von der größten Bedeutung. Eingehendere Erhebungen über die Verbreitung des PELGER-Gens beim Menschen sind wünschenswert. Homozygote Pelger kennen wir, wie gesagt, vorerst für den Menschen noch nicht. Bei der weitgehenden Parallelität der Erscheinungen bei Mensch und Tier, soweit die heterozygoten Pelger in Frage kommen, ist aber kaum ein Zweifel möglich, daß die homozygoten Pelger sich ähnlich verhalten. Auch beim Menschen wird die Homozygotie des PELGER-Gens zu einer völligen Unterdrückung der Segmentierung der Leukozytenkerne führen. Ebenso wird die doppelte Dosis des PELGER-Gens beim Menschen schwere Entwicklungsstörungen im Gefolge haben, wobei vor allem an entsprechende Störungen der Extremitätenentwicklung zu denken ist. Die bisher von uns auf ihr Blutbild untersuchten Individuen mit Phokomelie oder ähnlichen Mißbildungen hatten alle normale Leukozyten. Natürlich ist aber auch mit der Möglichkeit zu rechnen, daß das PELGER-Gen beim Menschen, als einem höher differenzierten Organismus, in doppelter Dosis absolut letal wirkt. Vielleicht werden unter den Totgeburten homozygote Pelger zu finden sein. Wie dem aber auch sei — jedenfalls kann die PELGER-Anomalie heute nicht mehr als eine harmlose Blutvariante angesehen werden. Das PELGER-Gen muß vielmehr zu den krankhaften, rassenhygienisch unerwünschten Genen gerechnet werden.

Die fetalen Blutkrankheiten.

Noch eine weitere Parallele aus dem Gebiete der Blutkrankheiten soll hier besprochen werden, wenn auch in diesem Falle noch mancherlei problematisch ist.

Als fetale Blutkrankheiten faßt man drei Krankheitsbilder zusammen, die offenbar auf die gleiche Ursache zurückgehen: den Hydrops congenitus universalis, den Icterus gravis neonatorum und die Anaemia neonatorum. Die mit allgemeiner Wassersucht geborenen Kinder kommen meist tot zur Welt oder sterben in den ersten Lebensstunden; die Neugeborenen, bei denen sich in den ersten Lebenstagen eine schwere Gelbsucht entwickelt, gehen in der Regel ebenfalls an dem Leiden zugrunde, oder es bleiben, wenn sie durchkommen, nicht selten zerebrale Störungen zurück (Kernikterus), während die Anämie der Neugeborenen im allgemeinen einen leichten Verlauf nimmt und nicht lebenbedrohend ist. Alle drei Krankheiten sind oft mit Erythroblastose verbunden, d. h. mit einer Überschwemmung des kreisenden Blutes mit unreifen (kernhaltigen) roten Blutkörperchen, den Erythroblasten. Man hat in dieser Erythroblastose den Ausdruck einer funktionellen Unreife im Neugeborenenalter und die eigentliche Ursache der drei Krankheiten gesehen, wozu freilich zu bemerken ist, daß der Grad der Erythroblastose sehr stark wechselt, ja diese kann überhaupt fehlen. Je nach dem Zeitpunkt, zu dem die Krankheit einsetzt, soll es zu der schwersten Form, dem Hydrops, der mittelschweren Form, dem Ikterus, oder der weniger gefährlichen Anämie kommen.

Die Frage, ob die fetalen Blutkrankheiten zu den Erbleiden gehören, ist noch sehr umstritten. Manches spricht für ihre Vererbung, aber mehr noch scheint dagegen zu sprechen. Fälle einer sippenmäßigen Häufung der Krankheiten sind sehr selten, hingegen sind in den Geschwisterschaften oft zahlreiche Kinder erkrankt, wobei die drei Formen in der Familie alternierend auftreten können. Bei einem erbbedingten Leiden sollte man eine zufallsmäßige Verteilung der kranken Kinder in den Geschwisterschaften erwarten. Tatsache ist aber, daß die ersten Kinder meistens gesund sind, jedoch mit steigender Geburtennummer die Häufigkeit der Erkrankungen zunimmt, ja es ist vielfach so, daß, wenn erst einmal ein krankes Kind geboren ist, 4, 5, 6 und mehr kranke Kinder einander folgen. Daß die Reihe der kranken Kinder durch ein gesundes Kind unterbrochen wird, kommt zwar vor, ist aber selten. Von Zwillingen sind meist beide

krank, doch ist vielfach die Krankheitsform verschieden. In sechs im Schrifttum niedergelegten Fällen war indessen der eine Zwilling gesund, der andere krank und zeigte sogar fünfmal die schwerste Form der Krankheit, die allgemeine Wassersucht. Über die Eiigkeit der Zwillinge fehlen leider meist brauchbare Angaben. Mehrfach wurde beobachtet, daß in Geschwisterschaften aus mehreren Ehen einer Frau die Kinder des einen Mannes gesund, die des anderen krank waren. Darin hat man wieder einen Beweis für die Erblichkeit gesehen. Aber stets waren die Kinder aus der ersten Ehe der Frau gesund, was damit erklärt werden könnte, daß die ersten Kin-

Fig. 10. Neugeborenes Kind mit allgemeiner Wassersucht. (Nach KRATZEISEN und BALLHORN aus G. B. GRUBER 1930.)

der ja überhaupt seltener erkranken. Beweisend für die Erblichkeit könnte der umgekehrte Fall sein, wenn auf kranke Kinder in der ersten Ehe nur gesunde in einer zweiten Ehe folgen. Bei dieser Sachlage sind manche Autoren heute geneigt, einen exogenen Faktor, und zwar eine Schwangerschaftstoxikose der Mutter, als Ursache der fetalen Blutkrankheiten anzunehmen.

Bei der von mir gefundenen fetalen Blutkrankheit des Kaninchens in der Form des Hydrops congenitus universalis ist ein Zweifel an der erblichen Natur des Leidens nicht möglich. Das Krankheitsbild entspricht sowohl klinisch als auch histopathologisch ganz und gar dem des menschlichen Hydrops. Wie beim Menschen (Fig. 10) ist die starke Durchtränkung der ganzen Frucht mit Flüssigkeit auch beim Kaninchen (Fig. 11) das Hauptcharakteristikum. Die ödematösen Erscheinungen, die dem Individuum ein unförmiges Aussehen geben, sind besonders ausgeprägt an den Extremitäten sowie an Kopf und Hals, die oft kaum voneinander abgesetzt sind. Die hydropischen Früchte werden im allgemeinen auch beim Kaninchen voll ausgetragen und leben bis zur Geburt, gehen aber dann während der Geburt oder kurz darnach unter schnappenden Atembewegungen zugrunde. Länger als zwei Stunden blieb kein Tier am Leben. Für den Menschen werden 46 Stunden als längste Lebensdauer eines hydropischen Kindes angegeben.

Die verdickte Haut hat eine gallertig-sulzige Beschaffenheit. Der Leib ist stark aufgetrieben, Bauch- und Brusthöhle sind mit blutdurchsetzter seröser Flüssigkeit prall gefüllt, bei neugeborenen Kaninchen oft bis zu 6 ccm, bei menschlichen Neugeborenen bis zu 650 ccm. Infolge dieser Anreicherung der Gewebe und der Füllung der Körperhöhlen mit Flüssigkeit sind die hydropischen Tiere schwerer als ihre normalen Wurfgeschwister. Leber und Milz sind bei Mensch und Kaninchen vergrößert, im histologischen Bilde fallen hier und dort (Fig. 12 u. 13) die ausgedehnten Blutbildungsherde auf, die das eigentliche Lebergewebe (Fig. 14) völlig verdecken können. Während beim

Fig. 11. Neugeborenes Kaninchen mit allgemeiner Wassersucht.

normalen Individuum Leber und Milz zur Zeit der Geburt ihre embryonale Funktion als Blutbildungsorgane an das Knochenmark abgegeben haben, behalten sie beim hydropischen Individuum diese Funktion bei und werden damit den Aufgaben, die sie nach der Geburt haben, entzogen. Für das Blutbild ist auch beim Tier die mehr oder weniger große Zahl von Erythroblasten kennzeichnend. Freilich ist die Erythroblastose wie beim Menschen kein ständiges Symptom des Leidens, und der Grad von Hydrops und Erythroblastose gehen miteinander nicht parallel. Ein sehr auffälliges Merkmal ist beim Hydrops des Menschen noch die stark vergrößerte und ödematös aufgetriebene Plazenta. Leider entzieht sich dieses Merkmal beim Kaninchen der Untersuchung, da die Plazenta von dem Muttertier bei der Geburt aufgefressen wird.

Alle von mir gezüchteten Kaninchen mit Hydrops gehen zurück auf *einen* Rammler, ein albinotisches, aus einer Rassezucht stammendes Angorakaninchen, Träger einer sehr seltenen Anomalie. Das Tier hatte zwei gleichmäßig ent-

wickelte und funktionsfähige Begattungsapparate. Zur Prüfung der etwaigen Erblichkeit dieser Diphallie wurde der Rammler mit einer großen Zahl Häsinnen aus verschiedenen, mit ihm nicht verwandten Stämmen gepaart. Die weiblichen Nachkommen der ersten und weiterer Generationen wurden wieder mit ihm rückgekreuzt. Es trat aber niemals ein Individuum mit einer ähnlichen Doppelbildung auf, die Diphallie ist — wie augenscheinlich auch in den beim Menschen beobachteten Fällen — keine erbliche Anomalie, vielmehr liegt hier ein Problem der Entwicklungsmechanik vor.

Bei der Rückkreuzung der Töchter des Diphallie-Rammlers mit dem Vater erschienen aber ab und zu Neugeborene mit Hydrops, und seither konnte dieser Hydropsstamm schon über mehrere Generationen fortgezüchtet werden. Es steht hiernach fest, daß es sich bei der allgemeinen Wassersucht des Kaninchens um ein rezessives Merkmal handelt. Der Erbgang ist aber nicht einfach-rezessiv, es müssen offenbar mehrere Gene zusammenwirken, um den Hydrops entstehen zu lassen, und außerdem scheint das Manifestwerden der Krankheit auch noch von gewissen, außerhalb der Erbmasse der Frucht gelegenen Faktoren abhängig zu sein. Es ergab sich, daß der Prozentsatz der Hydrops-Jungen nicht nur in verschiedenen Stämmen sehr verschieden ist, sondern auch innerhalb eines Stammes sehr stark wechselt. Insgesamt waren unter 233 F_2-Tieren 33 hydropische Jungen, d. h. 14,16%. Bei den einzelnen Häsinnen aber schwankte der Prozentsatz zwischen 3,85 und 27,27, Unterschiede, die nicht etwa nur durch den Fehler der kleinen Zahl bedingt sind. So hatte eine Häsin in 10 Würfen mit 52 Jungen nur 2 = 3,85% mit Hydrops, während eine andere in 9 Würfen stets neben normalen Jungen hydropische hatte, unter 48 Jungen 12 = 25,0%. Sämtliche bisher geborenen 33 Hydrops-Jungen sind Albinos. Das scheint zunächst für eine Koppelung zwischen dem Albino-Gen und dem (oder einem) Hydrops-Gen zu sprechen. Offenbar ist es aber so, daß das Albino-Gen ein Konditionalfaktor ist, der (homozygot) vorhanden sein muß, damit das Hydrops-Gen in Wirksamkeit treten kann.

Diese im einzelnen noch einer eingehenderen experimentellen Analyse bedürfenden Befunde beim Tier erfahren vielleicht eine weitere Klärung auch durch eine interessante Entdeckung, die man in allerjüngster Zeit in Amerika beim Studium der fetalen Blutkrankheiten gemacht hat. Im Jahre 1940 haben LANDSTEINER und WIENER eine neue agglutinable Blutkörperchen-eigenschaft gefunden, die sie, da zunächst mit Hilfe von Rhesus-Affenblut nachgewiesen, mit Rh bezeichneten. 85% aller Menschen in den USA. sind nach ihren Untersuchungen Rh-positiv, 15% Rh-negativ. Ähnliche Prozentzahlen fand DAHR für Deutschland. Rh-positiv und

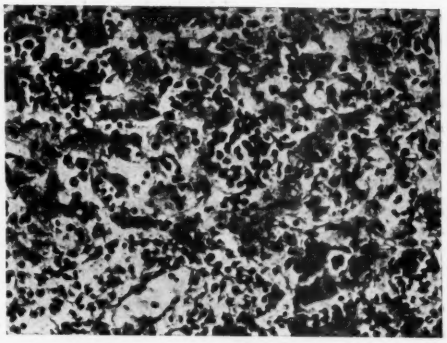


Fig. 12. Schnitt durch die Leber von menschlichem Neugeborenen mit Hydrops universalis congenitus. Zahlreiche Blutbildungsherde (Präp. Path. Inst. Univ. Frankfurt/Main, phot. NACHTSHEIM).

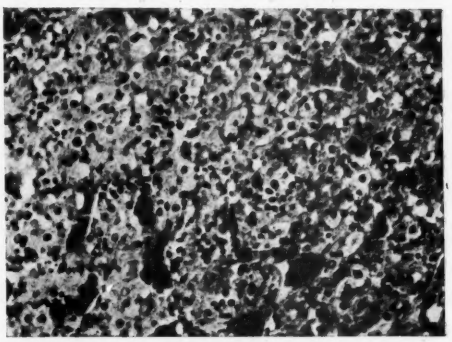


Fig. 13. Schnitt durch die Leber eines neugeborenen Kaninchens mit Hydrops universalis congenitus. Zahlreiche Blutbildungsherde wie in Fig. 12.

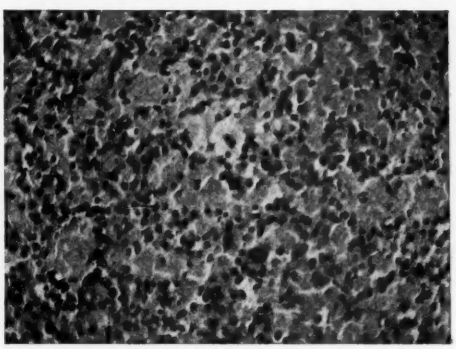


Fig. 14. Schnitt durch die Leber eines normalen neugeborenen Kaninchens zum Vergleich.

Rh-negativ verhalten sich als ein Merkmalspaar, wobei Rh- + dominant, Rh- — rezessiv vererbt wird.

Von amerikanischer Seite wurden nun neuerdings Beziehungen des Rh-Faktors zu den fetalen Blutkrankheiten ermittelt, Befunde, die in Deutschland durch WOLFF und DAHR bestätigt wurden. Die Mütter von Kindern mit fetalen Blutkrankheiten sind Rh-negativ, die Väter Rh-positiv, und es kann das Leiden zustande kommen, wenn das Kind das dominante Merkmal vom Vater erbt, also auch Rh-positiv ist. Voraussetzung dafür ist aber noch eine besondere Permeabilität der Plazenta für die Rh-Antigene des Kindes. Gelangen die Antigene durch die Plazenta in die Mutter, so führen sie bei ihr zur Bildung von Rh-Antikörpern, und wenn nun diese auf dem umgekehrten Wege in das Kind übertreten, so kommt es bei ihm zu einer Hämolyse. Es entsteht die fetale Blutkrankheit. Es hat den Anschein, daß während der ersten Schwangerschaften Rh-Antikörper im allgemeinen noch nicht oder doch nicht in größerem Maße von der Mutter gebildet werden und auf diese Weise die ersten Kinder oftmals von dem Leiden verschont bleiben. Anderseits lassen sich nach WOLFF die Rh-Antikörper, wenn sie erst einmal von der Mutter gebildet worden sind, häufig noch Monate, ja Jahre nach der Geburt eines kranken Kindes nachweisen, und wenn somit eine neue Schwangerschaft mit einem Rh-positiven Kind eintritt, so ist dieses von vornherein stark gefährdet. Ist der Vater hinsichtlich des Rh-Faktors homozygot, so wird jedes Kind das dominante Gen erben, ist er heterozygot, so haben wir mit 50% Rh-positiven Kindern zu rechnen.

Wenn auch die „Rh-Theorie der hämolytischen Fetosen", wie WOLFF die fetalen Blutkrankheiten (Erythroblastenkrankheiten) nennt, zunächst nicht das ganze Problem zu lösen vermag, so hat sie uns doch ein gutes Stück weitergeführt, und es erhebt sich nunmehr die Frage, ob sich die Theorie auch auf die tierischen Krankheiten dieser Art anwenden läßt. Für das Kaninchen ist der Rh-Faktor bisher nicht bekannt. Untersuchungen in dieser Richtung sind an den Tieren meines Hydrops-Kaninchenstammes im Gange (DAHR), doch läßt sich im gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht darüber berichten. Sollte es möglich sein, auch beim Tier ähnliche Beziehungen zwischen diesen Blutkrankheiten und einer Serumeigenschaft des Blutes aufzufinden, so würde sich damit die Möglichkeit zu weiteren experimentellen Untersuchungen in den verschiedensten Richtungen eröffnen.

Es ist selbstverständlich, daß bei der vergleichenden Betrachtung der Erbleiden von Mensch und Tier die Organisationsunterschiede nicht außer acht gelassen werden dürfen. Das Nervensystem z. B. ist bei einem Kaninchen in vieler Hinsicht einfacher organisiert als beim Menschen. Daraus müssen sich Unterschiede auch bei der Entstehung und Entwicklung von Erbleiden ergeben, die dieses Organsystem befallen. Aber die einfachere Organisation des Tieres kann sich bei der genetischen und phänogenetischen Analyse auch wieder als ein Vorteil auswirken. Das hat sich uns bei der vergleichenden Untersuchung der *Epilepsie* gezeigt. Der epileptische Krampfanfall beruht auf einem nicht nur beim Menschen ubiquitären Mechanismus, dieser ist auch den übrigen Säugern eigen, und durch geeignete Methoden läßt sich der Mechanismus bei jedem Individuum, ob Epileptiker oder nicht, in Gang setzen, wobei die charakteristischen Phasen bei Mensch und Tier in gleicher Weise wiederkehren. Beim Menschen aber mit seinem hochdifferenzierten Nervensystem finden wir eine ganze Reihe von Spielarten der Epilepsie. Durch übergeordnete Faktoren kann das Erscheinungsbild des Anfalls in dieser oder jener Richtung abgeändert, können die wesentlichen Züge mehr oder weniger verschleiert sein. Diese Faktoren aber hinreichend zu analysieren, ist ohne den Weg des Experiments außerordentlich schwer, wenn nicht unmöglich. Beim Tier — in unserem Falle wieder dem Kaninchen — haben wir eher die Möglichkeit, den epileptischen Anfall sozusagen in reiner Form zu studieren, einmal ohne das durch die höhere Organisation bedingte Beiwerk, sodann an einem experimentell gewonnenen, genetisch durchaus einheitlichen Material. Nur so können wir dem Wesen der Krampfbereitschaft und des Krampfanfalls näher kommen und Richtlinien für die Beurteilung der komplizierten Verhältnisse beim Menschen gewinnen.

Es ist nun aber durchaus nicht so, daß der Mensch, als der höchstdifferenzierte Organismus, in jeder Hinsicht kompliziertere Verhältnisse darbietet als das Tier. Artspezifische Merkmale können dazu führen, daß eine Mutation, die sich beim Menschen völlig harmlos auswirkt, beim Kaninchen ihre Träger lebensunfähig macht. Wir sprachen von den Schneidezähnen und ihrer Vererbung bei Mensch und Kaninchen. Zwischen diesen Zähnen besteht beiderseits ein wesentlicher Unterschied in der Organisation. Während sie beim Menschen — wie bei den meisten Säugetieren — Wurzeln besitzen, sind die Zähne des Kaninchens — wie die aller Nager — wurzellos und wachsen zeitlebens. Infolgedessen müssen sie sich, um ihre normale Größe zu behalten, dauernd abnutzen. Das aber ist bei den großen Schneidezähnen, den Nagezähnen, nur möglich, wenn sich die Zähne von Ober- und Unterkiefer in normaler Stellung zueinander befinden, d. h. wenn die Nagezähne des Oberkiefers die des Unterkiefers übergreifen. Eine Mutation, die diese Stellung ändert, wird für das Kaninchen lebenbedrohend. Wir kennen sowohl beim Menschen als auch bei den verschiedensten Säugetieren Mu-

tationen, die die Harmonie der Kieferentwicklung stören. Eine Hemmung des Oberkieferwachstums z. B. muß zu einem Vorstehen des Unterkiefers führen. Für den Menschen bedeutet dieses Vorstehen des Unterkiefers kaum mehr als einen Schönheitsfehler. Beim Hunde wird der vorstehende Unterkiefer sogar als Rassemerkmal gezüchtet (Bulldogge). Beim Kaninchen hingegen hat das Herausragen der unteren Nagezähne über die oberen die Funktionslosigkeit der Zähne zur Folge, sie können nicht mehr dem Nagen dienen, nutzen sich nicht ab und werden überlang, dem Tier wächst in kurzer Zeit das Maul zu, es muß verhungern. So hat die Besonderheit im Zahnbau zur Folge, daß die gleiche Mutation beim Nager zu einem ganz anderen Ergebnis führt als beim Menschen und den übrigen Säugern.

Ist auch das Gen*gefüge* bei im System voneinander entfernt stehenden Arten weitgehend verschieden, so schließt dies doch nicht aus, daß Lebewesen wie Mensch und Kaninchen viele *Einzel*gene gemeinsam haben. Die Mutabilität dieser homologen Gene bewegt sich oft in den gleichen Bahnen, es entstehen bei Mensch und Tier übereinstimmende Änderungen im Erbbild. Ob auch das Erscheinungsbild, das sich unter dem Einfluß des abgeänderten Erbbildes entwickelt, bei beiden Arten das gleiche ist, hängt davon ab, inwieweit die beeinflußten Organe artspezifische Besonderheiten aufweisen. Mag nun aber auch die Phänogenese bei Mensch und Tier parallel verlaufen, oder mag die Entwicklung früher oder später divergieren und unterschiedliche Endprodukte liefern — in jedem Falle kann uns die vergleichend-experimentelle Methode durch den Modellversuch am Tier für das Verständnis der Verhältnisse beim Menschen wichtige Erkenntnisse vermitteln.

Literatur.

P. DAHR u. J. WOLFF, Das neue agglutinable Blutkörperchenmerkmal „Rh" und seine praktische Bedeutung. Münch. med. Wschr. 1944. — A. C. JÖHR, Reduktionserscheinungen an den oberen seitlichen Schneidezähnen, dominant gehäuft in einem Schwyzer Bergdorf. Arch. Klaus-Stftg, Zürich 9 (1934). — H. NACHTSHEIM, Krampfbereitschaft und Genotypus. I. Die Epilepsie der Weißen Wiener Kaninchen. Z. menschl. Vererb.- u. Konstit.-lehre 22 (1939). — Krampfbereitschaft und Genotypus. II. Weitere Untersuchungen zur Epilepsie der Weißen Wiener Kaninchen. Z. menschl. Vererb.- u. Konstit.lehre 25 (1941). — Krampfbereitschaft und Genotypus. III. Das Verhalten epileptischer und nichtepileptischer Kaninchen im Cardiazolkrampf. Z. menschl. Vererb.- u. Konstit.lehre 26 (1942). — Krampfbereitschaft und Lebensalter. Nach Beobachtungen und Versuchen am Kaninchen. Z. Altersforsch. 3 (1941). — Die Pelger-Anomalie und ihre Vererbung bei Mensch und Tier. Erbarzt 10 (1942). — Die Pelger-Anomalie und ihre Vererbung bei Mensch und Tier. II. Die homozygoten Pelger und ihr Schicksal. Erbarzt 11 (1943). — Incisiven-Unterzahl und ihre Vererbung bei Tier und Mensch. In Vorbereitung. — H. NACHTSHEIM u. H. KLEIN, Hydrops congenitus universalis beim Kaninchen, eine erbliche fetale Erythroblastose. Erscheint in Z. menschl. Vererb.- u. Konstit.-lehre. — R. RITTER, Über die Frage der Vererbung von Anomalien der Kiefer und Zähne. Sammlung Meusser, H. 30. Leipzig 1937. — G. RUHENSTROTH-BAUER u. H. NACHTSHEIM, Die Bedeutung des Sauerstoffmangels für die Auslösung des epileptischen Anfalls. Nach Versuchen an epileptischen Kaninchen. Klin. Wschr. 23 (1944). — E. UNDRITZ, Das Pelger-Huëtsche Blutbild beim Tier und seine Bedeutung für die Entwicklungsgeschichte des Blutes. Schweiz. med. Wschr. 69 (1939). — Das ausschließliche Vorkommen reifer rundkerniger Leukocyten bei der reingezüchteten Pelger-Huëtschen Anomalie des Kaninchens und die Bedeutung der Pelger-Leukocyten in der vergleichenden Hämatologie. Fol. haemat. (D.) 67 (1944). — J. WOLFF, Die fetalen Erythroblastenkrankheiten (Hydrops congenitus universalis, Icterus neonatorum gravis, Anaemia neonatorum) als Ausdruck funktioneller Unreife. Erg. inn. Med. 60 (1941). — Die Entstehung der hämolytischen Fetosen (sog. fetale Erythroblastenkrankheiten). Mschr. Kinderhk. 1944.

Die Beziehungen der Rickettsien zu Bakterien und Viren.

Von F. WEYER,[1]) H. FRIEDRICH-FREKSA[2]) und G. BERGOLD.[3])

I. Fragestellung.

Die Erkenntnis, daß einige Infektionskrankheiten durch einheitliche Eiweißstoffe und nicht durch Mikroorganismen hervorgerufen werden, führt zu der Frage, ob es einen allmählichen Übergang zwischen Virusstoffen und Mikroorganismen gibt oder ob zwischen beiden eine scharfe Grenze besteht. Für beide Auffassungen lassen sich Gründe anführen. Die kleinsten Bakterien schließen sich in ihrer Größe den größten Viruselementarkörpern an. In der Streuung der Größe verhalten sich aber nach der Untersuchung von RUSKA und KAUSCHE (1943) Bakterien und Viren ganz verschiedenartig. RUSKA und KAUSCHE fanden, daß die am Elektronenmikroskop gemessene Größenverteilung von Viruselementarkörpern (Molluscum contagiosum, Ektromelie, Kaninchenmyxom, Kanarienpocken und Vakzine) einer normalen GAUSSschen Verteilungskurve folgt. Demgegenüber weisen Bakterien eine ganz andere Größenverteilung auf, die bedingt ist durch das

[1]) Bernhard Nocht-Institut für Schiffs- und Tropenkrankheiten, Hamburg.
[2]) Kaiser Wilhelm-Institut für Biochemie, Berlin-Dahlem.
[3]) Arbeitsstätte für Virusforschung der Kaiser Wilhelm-Institute für Biochemie und Biologie, Berlin-Dahlem.

Wachstum zu etwa doppelter Größe und ihre anschließende Teilung. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Bakterien und Viren ist auch in dem Vorhandensein eines Energiestoffwechels bei Bakterien zu erblicken, während Fermente bei Viren bisher nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden konnten. Doch fanden HOAGLAND usw. (1941), daß das Pockenvirus Kupfer als wesentlichen Bestandteil enthält. Da Kupfer als Wirkungsgruppe von sauerstoffübertragenden Fermenten erkannt wurde, so könnte man in diesem Vorkommen die Andeutung eines Energiestoffwechsels erblicken.

Eine Klärung der für die Auffassung der Viren grundlegenden Frage nach der Möglichkeit eines gleitenden Übergangs in Lebewesen erscheint nur dadurch möglich, daß man alle die Formen, bei denen die Zuordnung zu Mikroorganismen oder Virusstoffen noch zweifelhaft ist, genau durchprüft, ob sie sich eindeutig in eine der beiden Gruppen einreihen lassen, oder ob sie wirklich eine Übergangsstellung einnehmen. Zu den Formen, deren Zugehörigkeit noch unsicher ist, gehören die Rickettsien, von Insekten und Milben übertragbare Krankheitserreger, die für eine Gruppe von Infektionskrankheiten verantwortlich sind, unter denen das epidemische Fleckfieber, das endemische oder murine Fleckfieber, das amerikanische Felsengebirgsfieber und das japanische Milbenfieber am bekanntesten sind. OTTO und WOHLRAB behandeln die Rickettsien in einem besonderen Kapitel des Handbuchs der Viruskrankheiten. Es wird betont, daß sie nicht ohne weiteres unter die Virusarten einzureihen, sondern daß sie nur als „virusähnlich" anzusprechen sind. Die Gründe, die dazu geführt haben, sie in die Nähe der Virusarten zu stellen, sind ihre Nichtzüchtbarkeit auf Bakteriennährböden und ihre geringe Größe.

Die Kultur der Rickettsien ist bisher einwandfrei nur in Gegenwart lebender Zellen, also entweder im Tierkörper, oder in der Gewebekultur gelungen. Die Vermehrung der Rickettsien ist in der Kultur verschiedener tierischer Gewebe, wie z. B. mesodermaler Gewebe von Meerschweinchen, Ratten, Kaninchen und Hühnerembryonalgewebe, beobachtet worden, wobei die Kulturen in mehreren Passagen fortgeführt werden konnten. Doch erfolgt die Vermehrung der Rickettsien und vor allem die Fortführung in der Kultur längst nicht mit der Leichtigkeit und Regelmäßigkeit wie bei manchen Viren. Auch die Züchtung der Rickettsien in explantiertem Läusegewebe hat bisher nicht das gewünschte Resultat gehabt (vgl. NAUCK und WEYER 1941).

Form und Größe der Rickettsien sind schwankend. Als Größenmaße sind für die kleinen rundlichen Formen 0,3—0,4 μ Durchmesser angegeben, für die Kurzstäbchen eine Breite von 0,4 μ und eine Länge von 0,5—0,6 μ, für die Doppelstäbchen eine Breite von 0,4 μ und eine Länge bis zu 1,4 μ. Da die Rickettsien wenigstens in ihrer Breitenausdehnung schon nahe an der Auflösungsgrenze des Mikroskops stehen, so sind die Versuche von SIKORA (1942), lichtmikroskopisch noch feinere Differenzierungen an ihnen nachzuweisen und daraus sogar Entwicklungsreihen abzuleiten, mit der Unsicherheit behaftet, die der Realität von optischen Strukturen in der Größe der Wellenlänge des Lichtes zukommt.

Die Absicht der vorliegenden Arbeit ist es, durch elektronenmikroskopische Untersuchungen gesicherte Anhaltspunkte für die Einordnung der Rickettsien im Verhältnis zu Bakterien und Viren aufzufinden*).

II. Material und Methode.

1. Gewinnung der Rickettsien.

Als geeignetes Material für diese Versuche benutzten wir einen auf Mäusen gehaltenen Stamm von *Rickettsia mooseri*. Zur Gewinnung größerer Rickettsienmengen wurde das Peritonealepithel infizierter Mäuse auf der Höhe der Infektion abgeschabt und mit Ringerlösung versetzt. Durch fraktionierte Zentrifugierung dieser Emulsion erhält man bei gutem Infektionserfolg im Bodensatz des Zentrifugenröhrchens einen ziemlich konzentrierten Rickettsienbrei. Die so gewonnenen Rickettsien wurden im Dunkelfeld eines Ortholux-Mikroskopes von E. Leitz mit Apochromat 2 mm (n. A. 1,40) und Dunkelfeldölkondensor (n. A. 1,40) untersucht (vgl. Fig. 1). Mit dieser optischen Einrichtung kann man die verschiedenen Rickettsienformen gut beobachten und diese auch innerhalb einzelner Zellen herumwirbeln sehen.

2. Verhalten gegen Natronlauge.

Da die Rickettsien auch bei Insekten infektiös sind, prüften wir, ob sie sich ähnlich verhalten wie die bei den Polyederviruserkrankungen der Insekten in den Zellkernen auftretenden polyederartigen Körper (vgl. BERGOLD 1943). Die Polyeder bestehen aus einem einheitlichen Nukleoproteid, das sich mit n/100 NaOH vollständig in Lösung bringen läßt. In mehreren Versuchen brachten wir Tropfen einer Rickettsienaufschwemmung auf Objektträger und saugten unter dem Deckglas n/100 und n/10 NaOH durch. Die Rickettsien lösen sich nicht, ihre Auflösung findet

*) Anmerkung bei der Korrektur: Nach Abschluß dieser Arbeit erhalten wir Kenntnis von der mittlerweile erschienenen Arbeit von EYER und RUSKA [Z. Hyg. u. Inf. Kr. 125, 483—492 (1944)], deren Ergebnisse mit unseren übereinstimmen. Da EYER und RUSKA Rickettsien aus Läusedärmen benutzt haben, während wir Rickettsien aus Mäuseperitonealepithel untersuchten, ergänzen sich beide Arbeiten und zeigen zusammen, daß kein erkennbarer Gestaltwechsel mit dem Wirtswechsel der Rickettsien verbunden ist.

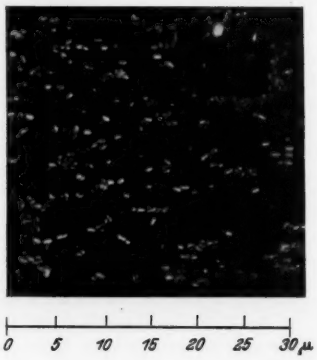


Fig. 1.

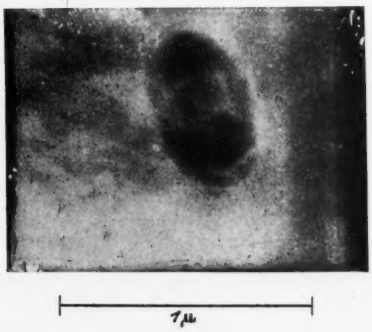


Fig. 2.

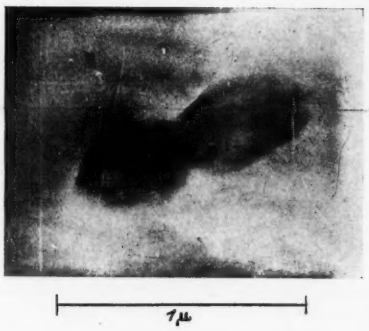


Fig. 3.

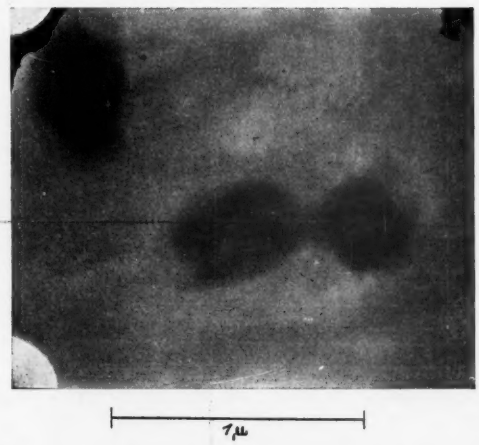


Fig. 4.

Fig. 5.

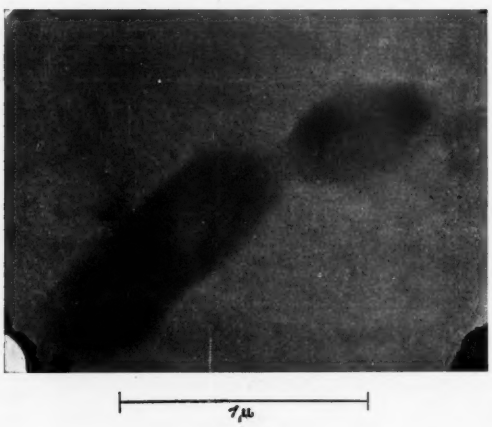


Fig. 6.

Fig. 1. Peritonealausstrich von einer mit *Rickettsia mooseri* infizierten Maus, Giemsa-Färbung. Dunkelfeldaufnahme mit Leitz-Ortholux-Mikroskop Apochr. 2 mm (n. A. 1.40), Dunkelfeldölkondensor (n. A. 1,40). 1500mal.

Fig. 2—6. Elektronenmikroskopische Aufnahmen von *Rickettsia mooseri* aus dem Laboratorium für Übermikroskopie des Hygienischen Instituts der Universität Tübingen. Aufnahmevergrößerung 40 000mal.

erst bei einer Alkalikonzentration statt, bei der auch die Strukturen der Zellen verschwinden.

3. Herstellung der elektronenmikroskopischen Präparate.

Die Rickettsienaufschwemmung wurde aus Desinfektionsgründen mit schwacher Formollösung versetzt. Die derartig fixierten Rickettsien zeigen im Dunkelfeld keinen Unterschied zu den frisch gewonnenen. Von dieser Suspension wurden in geeigneter Konzentration Auftragungen auf Kollodiumfolien ausgeführt und die aufgetrockneten Rickettsien mit destilliertem Wasser mehrfach gewaschen. Die Aufnahmen wurden an einem Siemens-Elektronenmikroskop im Hygienischen Institut der Universität Tübingen von Frl. BOLZ durchgeführt.[4])

III. Elektronenmikroskopische Untersuchung von *Rickettsia mooseri.*

Aus der Reihe der mit dem Elektronenmikroskop gemachten Aufnahmen sind einige in Fig. 2—6 wiedergegeben. Sämtliche Bilder wurden mit 40 000facher Vergrößerung aufgenommen.

Überblickt man die Aufnahmen in ihrer Gesamtheit, so findet sich eine Reihe Beobachtungen, die man bereits mit dem Lichtmikroskop machen konnte (vgl. Fig. 1), bestätigt. Das gilt zunächst für den Polymorphismus der Rickettsien, dann aber auch für ihre Gestalt. Vorherrschend ist die elliptische Form oder das plumpe Tönnchen. Eigentliche Kugelformen sind in den Aufnahmen nicht vertreten, sie wurden auch bei direkter Beobachtung im Elektronenmikroskop nicht gesehen. Die Breite schwankt zwischen 0,3—0,4 μ, die Länge zwischen 0,5 und 1 μ bei den Einzelkörpern. Der in Fig. 5 geschrumpfte „Binnenkörper" erinnert an Plasmolysebilder.

Im Innern des Rickettsienkörpers erkennt man besondere Strukturen, die teils regellos verstreut, teils an bestimmten Stellen konzentriert sind. Besonders eindrucksvoll sind in Fig. 2 die dunklen Pole, die wahrscheinlich für die „Polendenfärbung" im Giemsapräparat verantwortlich zu machen sind. Vermutlich entsprechen diesen Gebilden die beiden dunklen Flecke des kleinen Teilchens in Fig. 6. Es geht aus diesen Bildern klar hervor, daß es sich bei der gelegentlich im gefärbten Präparat beobachteten „Polfärbung" der Rickettsien nicht um bereits geteilte kleine Elemente handelt, deren schwach gefärbte Hülle sich noch nicht abgeschnürt hat, wie dies bisher angenommen wurde. Zwischen den Polkörpern sind teilweise noch andere Strukturen erkennbar, die auf eine starke Inhomogenität des Plasmas schließen lassen.

Es besteht wohl kein Zweifel, daß es sich bei den Fig. 3, 4, 5 und 6, die die bekannte Hantel- oder Biskuitform der Rickettsien wiedergeben, um Teilungsstadien handelt. Die lichtmikroskopische Betrachtung läßt es bei der Kleinheit des Objektes noch als unsicher erscheinen, ob bei den Doppelformen nicht eine Aggregation zweier Teilchen vorliegt. Die elektronenmikroskopische Untersuchung zeigt deutlich, daß eine wirkliche Verbindung der Teilstücke besteht. Nimmt man die Stärke des Zusammenhangs zwischen den Teilprodukten als ein Maß für das Alter der Teilungsstadien, so würde die Reihenfolge von Fig. 3 über 5 und 4 nach Fig. 6 laufen. Es ist aber die Unsicherheit zu betonen, die in der Deutung von wenigen Einzelbildern als zeitliche Folge liegt.

Das größere Teilstück in Fig. 6 hat fast die doppelte Länge des kleineren. Es zeigt in der Mitte eine leichte Eindellung, die vielleicht als erster Beginn einer neuen Teilung anzusehen ist. Ob ein Zusammenhang des Verhaltens der Polkörper mit der Reihenfolge der Teilungsstadien besteht, kann aus dem bisher vorliegenden Bildmaterial noch nicht entschieden werden.

IV. Überblick und Einordnung der Ergebnisse.

Die Ergebnisse lassen keinen Zweifel darüber, daß die Rickettsien in keine Beziehung zu Viruselementarkörpern oder zu den Polyederkörpern von Insektenviren zu bringen sind. Die bisher elektronenmikroskopisch untersuchten Elementarkörper zeigen eine kantige Gestalt (RUSKA 1943), ebenso wie die Polyederkörperchen, und sie weisen keine besondere Innenstruktur auf. Die Polyederkörperchen bestehen aus einem einheitlichen Eiweißstoff, sie sind in verdünnter Lauge löslich und sie vermehren sich nicht durch Zweiteilung (TRAGER 1935), sondern sie sind Kristallisate von vermehrungsfähigen Nukleoproteidmolekülen. Vermutlich sind auch die Elementarkörperchen ähnlich aufzufassen, denn die elektronenmikroskopischen Befunde von RUSKA und KAUSCHE (1943) sprechen gegen eine Vermehrung durch Zweiteilung, wie sie HERZBERG (1936) lichtmikroskopisch und KRAUSE (1938) elektronenmikroskopisch gefunden zu haben glaubten. Außerdem machen es die Befunde von SCHRAMM (1939) beim Myxomvirus des Kaninchens wahrscheinlich, daß die vermehrungsfähigen Einheiten kleiner sind als die Elementarkörper.

Die Rickettsien haben eine abgerundete Form, sie weisen eine deutliche Innenstruktur auf, sie sind in verdünnter Lauge nicht löslich, und sie schließen sich vor allem in ihrer Vermehrung durch Zweiteilung eng an Bakterien an. Außerdem zeigt die WEIL-FELIX-Reaktion, daß sie ein Polysaccharid enthalten, das einem Polysaccharid der Proteus-X-Bakterien nahesteht. Es scheint deshalb nicht länger berechtigt, die Rickettsien

[4]) Herrn Professor STICKL danken wir besonders, daß er uns die Durchführung der Aufnahmen ermöglichte, ebenso möchten wir Frl. BOLZ für ihre Hilfe danken.

als eine zwischen Bakterien und Viren stehende Gruppe aufzufassen.

Zusammenfassung. In Mäusen gezüchtete *Rickettsia mooseri* wurde elektronenmikroskopisch untersucht. Es ist eine deutliche Innenstruktur zu erkennen, die Doppelformen sind durch mehr oder weniger breite Brücken verbunden und erweisen sich dadurch als Teilungsstadien. In verdünnter NaOH sind die Rickettsien unlöslich. Die Rickettsien stimmen in Aussehen und Vermehrung mit Bakterien überein und haben keine Beziehungen zu Viruselementarkörpern.

Literatur.

G. BERGOLD, Biol. Zbl. 63, 1 (1943). — K. HERZBERG, Klin. Wschr. 1936, 1385. — C. L. HOAGLAND, WARD, SMADEL u. RIVERS, J. exper. Med. (Am.) 74, 69 (1941). — F. KRAUSE, Naturwiss. 26, 122 (1938). — E. G. NAUCK u. F. WEYER, Zbl. Bakter., Abt. 1, Orig. 147, 365 (1941). — R. OTTO u. R. WOHLRAB, Handb. der Viruskrankheiten 2, 528 (1939). — H. RUSKA, Arch. ges. Virusforsch. 2, 480 (1943). — H. RUSKA u. G. A. KAUSCHE, Zbl. Bakter., Abt. I, Orig. 150, 311 (1943). — G. SCHRAMM, Naturwiss. 27, 149 (1939). — W. TRAGER, J. exper. Med. (Am.) 61, 501 (1935).

Bisher unbekannte Formen des Elmsfeuers.

Von MAXIMILIAN A. TOEPLER, Langebrück bei Dresden.

Elmsfeuer und die leuchtenden Ausströmungserscheinungen aus Spitzen, Halbleitern usw. bei hoher Gleichspannung sind identisch. Wir haben bekanntlich, geordnet nach steigender Gleichstromdichte, die Formen: lichtloses Ausströmen, positives und negatives Glimmen, positive und negative Streifenentladung, kurzstieliges positives und stielloses negatives Büschel. Als stärkste bisher experimentell herstellbare Dauererscheinungen hat man die langstieligen positiven Büschel (mit Stielen bis mehr als 15 cm Länge, manchmal spiralig gewunden und dann oft mit pfeifendem hohen Ton brennend) und als negative Dauerform das negative bläuliche Büschel mit einem rötlichen Lichtpfrieme in der Büschelmitte und den weiterentwickelten negativen Lichtpfriem, ausgebildet zu einem bis 10 cm und mehr langen, dünnen, rötlichen, oft geschichteten, schlauchartigen, lautlos brennenden Leuchtgebilde[1]). Für die genannten Formen, bei denen durch einen Quadratzentimeter bis zu drei Milliampere strömen, ist ihr Aufbau in allen Einzelheiten bekannt; zwischen kurzdauerndem Auftreten und beliebig langdauerndem ist kein wesentlicher Unterschied.

Bei stärkeren Strömen und höheren Spannungen unterscheiden sich mehr und mehr die kurzdauernden von den analogen langdauernden Erscheinungsformen. So haben wir neben positiven Spritzbüscheln (bis 1,5 m lang bei 500 kV) oder den mit pistolenschußartigem Geräusche vorschießenden Büscheln positiver Elmsfeuer von mehreren Metern Länge als entsprechende Dauerform wohl die fackelförmigen rauschenden oder brausenden, bis über ein Meter hohen rötlich flammenden Elmsfeuer. Hier versagen bald die uns zur Zeit verfügbaren experimentellen Herstellungsmöglichkeiten, während dem Auftreten größter Elmsfeuer kaum Grenzen gesetzt sind. Die viele Meter langen, den aus Wolken herabfahrenden Blitzen von der Erde aus manchmal entgegenschlagenden Lichterscheinungen sind als größte Elmsfeuer aufzufassen.

Sehr große Elmsfeuer, besonders von längerer (bis zu einigen Sekunden) Dauer, sind äußerst selten[2]). Daher ist hier unsere Kenntnis der vorhandenen Ausbildungsmöglichkeiten noch keineswegs abgeschlossen. Eine Lücke bilden besonders die Erscheinungsmöglichkeiten größter *negativer* Elmsfeuer, d. h. die Weiterbildung von Lichtpfriem über lautlosen, halben, oft geschichteten, schlauchartigen Büschellichtbogen zu etwas noch Unbekanntem. Im Nachstehenden seien zwei mir bekanntgegebene Beobachtungen mitgeteilt, welche wohl diese Lücke füllen, d. h. welche ich als höchstentwickelte *negative* Elmsfeuer ansprechen möchte.

I.

Protokoll vom 4. April 1935[3]) über Elmsfeuerbeobachtung zu Hermsdorf in Thüringen beim Wintergewitter vom 29. März 1935. Hermsdorf liegt auf der Hochfläche zwischen Saale und Elster, die Esse der Porzellanfabrik überragt weithin sichtbar alles auf dieser Hochfläche.

„Allgemeine Witterungsverhältnisse: Vormittag regnerisch, windig, starke Bewölkung, zeitweise heftige Windstöße, gegen Mittag plötzliche Abkühlung, Hagel, Schnee.

In der Zeit zwischen 11^{48} und 11^{55} Uhr wurden folgende Beobachtungen gemacht:

In das Blitzableiterseil des 91 m hohen Schornsteins des Kraftwerkes der Porzellanfabrik schlugen acht Blitze hintereinander ein. Nach Aussage des Maschinenmeisters VOGEL im Kraftwerk wurden von den acht Einschlägen nur die zwei ersten nach der Erde abgeleitet. Die übrigen Entladungen gingen nach oben. Außerdem teilte er noch mit, daß bei Frühjahrsgewittern

[1]) Photographien und Beschreibung aller Entladungsformen siehe M. TOEPLER, Z. Techn. Physik 10, 73—81, 113—118 (1929).

[2]) Beobachtet z. B. in Steiermark, auf den Pyramiden, in den Rocky Mountains.

[3]) Aufgenommen von Dr. HEINZ HAASE; weitere Beobachter waren cand. phys. KEHBEL, Schlosser FRÖHLICH, Ing. DECKER, Elektromeister HESSELBARTH, cand. phys. DATTAN, Dr. BRETERNITZ, Maschinenmeister VOGEL.

(Februar bis April) sehr häufig Einschläge in den Schornstein erfolgten, während dies im Sommer selbst bei schweren Gewittern nur verhältnismäßig selten beobachtet wird.

Abgesehen von der hohen Zahl der Einschläge an derselben Stelle in so kurzer Zeit, war die

Fig. 1. Das Elmsfeuer am Schornstein.

Fig. 2. Das vergrößerte Elmsfeuerbild.

Erscheinung noch dadurch bemerkenswert, daß einige der von uns durch direkte Sicht beobachteten Einschläge nicht vertikal, sondern ungefähr horizontal erfolgten. Zwei Blitze schlugen auf der Seite, etwa 10 m unterhalb der Spitze des Schornsteins, ein und brannten dann ähnlich wie Lichtbögen an einem Hörnerblitzableiter nach oben hin ab. Die Länge dieser Lichtbögen wurde von den verschiedenen Beobachtern zwischen 20 bis 40 m geschätzt. Während des Gewitters herrschte sehr starkes Schneetreiben. Der Beginn des Überschlages wurde von einem starken hellen Knall, ähnlich dem bei Stoßentladungen, begleitet. Während der Dauer der Lichtbögen, die bis zu drei Sekunden geschätzt wurde, hörte man knatternde Geräusche, die bis zum Abreißen etwas dumpfer wurden. Das Abreißen selbst war mit einem kurzen Knall verbunden. Der sonst gewohnte heftige Einschlagdonner wurde nicht beobachtet. Auffällig war noch die Regelmäßigkeit der Einschläge. Die Pausen betrugen jedesmal etwa dreiviertel Minuten. Die Farbe der Lichtbögen war rötlich bis violett."

II.

Die voranstehenden Beobachtungen finden eine Ergänzung durch die in Fig. 1 u. 2 wiedergegebenen Photographie[4]) eines Elmsfeuers, aufgenommen beim Gewitter vom 28. September 1939 gegen 22 Uhr in Eisenberg in Thüringen am rückseitigen Schornstein des Hauses Platz der SA Nr. 11. Die Häuser um diesen Platz stellen, besonders da das Gelände nach Nord und Südost abfällt, die höchsten Punkte in der näheren Umgebung (bis 500 m Entfernung) dar.

Da das einstöckige Haus Nr. 11 niedriger als die Nachbarn ist (Fig. 3), so trägt es mitten auf der nach dem Hofe zu unter 35° geneigten hinteren Dachfläche einen diese um 2,8 m überragenden quadratischen Ziegelschornstein (ohne Eisenarmatur 45 × 45 cm, mit dieser 46 × 46 cm, Loch 20 × 20 cm). Die Arma-

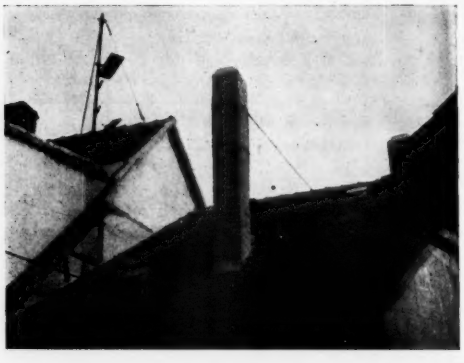


Fig. 3. Eine Tagesaufnahme von gleicher Stelle aus zur Orientierung.

tur zur Erhöhung der Standfestigkeit wird von vier Winkeleisen (je 105 cm lang mit 2,5 cm Schenkelbreite) den Schornsteinkanten entlang gebildet, welche mit zwei den Schornstein (17 cm von den Winkeleisenenden entfernt) umfassenden Flacheisenbändern zusammengehalten werden. Vom oberen Bande führen

[4]) Aufnehmender war der Feintischler und Mechaniker BADSTÜBER bei der Hescho in Hermsdorf.

zwei je 1,5 m lange Zuganker aus dem gleichen Flacheisen nach dem Dache nahe dessen Giebel hin. Der oberste Rand des Ziegelschornsteines überragt die Armaturenden um 44 cm. Diese Eisenarmatur war nicht geerdet; spätere Messungen nach Regen ergaben gegen verschiedene Erdungspunkte Widerstände um 20 Megohm, gegen die Rußschicht im Schornsteininnern 10 Megohm.

Das Elmsfeuer ging vom *untersten* Ende des dem Beschauer nächsten Winkeleisens aus, 151 cm unter dem obersten Ziegelschornsteinrande, die Schornsteinkante zeigte dort einen 3 cm tiefen Mörteldefekt und geschwärzte Ziegelstelle — ob Ursache oder Folge des Elmsfeuers an dieser Stelle, war nicht festzustellen. An dem rostigen Winkeleisen fanden sich keinerlei Schmorstellen oder Beschädigungen. Die *Stromstärke im Elmsfeuer* kann demnach *nicht groß* gewesen sein, hierfür spricht auch, daß eine irgend auffallende (mit Kompaß geprüfte) Magnetisierung der Eisenteile nicht eingetreten war.

Die Messung der Kapazität der Armatur hat wenig Wert, sie ist von Spannung und Feuchtigkeit abhängig. Hierfür 200 cm ist wohl nicht zu hoch gegriffen, immerhin dürfte ihr Vorhandensein für die *starke* Ausbildung des Elmsfeuers mit entscheidend gewesen sein.

Die Häuser der Umgebung trugen keine Blitzableiter, nur in 7,9 m Abstand von der Austrittsstelle und 10,2 m links vom Photographen befand sich, für letzteren unsichtbar, auf einem Dachgarten ein niedriger Schornstein mit Blitzableiter, dessen verbogene Spitze nicht ganz so hoch ragte, wie der obere Rand des Schornsteins mit Elmsfeuer. Auch weitere Schornsteine und Blitzableiter erreichten nur etwa diese Höhe, hohe Bäume fehlten.

Photographiert wurde vom Fensterbrett des Hinterhauses aus 13,3 m Entfernung, 5,5 m unter Austrittsstelle des Elmsfeuers, während des Gewitters mit starkem Gewitterregen und am Himmel sichtbaren Blitzen. Etwa zwei Minuten nach einer Verschlußöffnung erfolgte außerhalb des Blitzfeldes ein besonders heftiger Blitzschlag; Blitz und Donner fielen zeitlich zusammen. Nach Ansicht auch der übrigen Hausbewohner muß der Blitz in der Nähe eingeschlagen haben[5]). Der Apparat wurde nach diesem hellen Lichtschein sofort geschlossen.

Das photographierte Elmsfeuer wurde mit bloßem Auge nicht bemerkt, es war also relativ *lichtschwach*, wohl erst im Augenblick des Blitzschlages entstanden und *höchstens einige Sekunden dauernd*.

Das Bild des Elmsfeuers läßt (*a*) ein kurzes Stück auf den Photographen zu, (*b*) ein horizontales, etwa 2 m langes, senkrecht zur Blickrichtung und (*c*) ein etwas längeres nach oben gerichtet unterscheiden. Die gesamte *Länge des Elmsfeuers betrug mehr als 5 m*.

Am Bilde des Elmsfeuers fällt, unsere Kenntnisse solcher Entladungsformen bereichernd, besonders auf:

Das Elmsfeuer bildet einen langen Entladungskanal von fast kreisförmigem Querschnitt, Durchmesser etwa 15 bis 18 cm. Dieser hat sich schlangenartig in den Luftraum gebohrt.

Es handelt sich um einen Licht*schlauch*, dessen Wände viel stärker leuchten als die fast lichtlose Seele[6]), welche dunkel erscheint.

Der Schlauch war so *lichtschwach* und *durchsichtig*, siehe Schlauchstück (*b*), daß man durch ihn über seinen ganzen Querschnitt hindurch, ja sogar durch die stärker leuchtenden Schlauchwände hindurch das dahinter verlaufende Abspannseil deutlich erkennt. Alle weiterhin beschriebenen, im Urbilde sichtbaren Einzelheiten sind selbst in der vergrößerten Wiedergabe (Fig. 2) leider verloren gegangen.

Der Entladungskanal endigt in der Höhe in einem zugespitzten *Ende ohne* irgendwelche Andeutung von *Zersplitterung* in divergierende Äste, Leuchtfäden oder dergleichen.

Kurz vorm Ende erkennt man *etwa vier Einschnürungen* des Lichtschlauchs, als ob sich *Leuchtmassen* abtrennen wollten[7]).

Unterhalb des zugespitzten Endes erscheint der Schlauch durch *helle* schmale *Querwände* unterteilt, der größte Teil von Schlauchstück (*c*) zerfällt so in etwa 7 etwa je 20 cm hohe Zellen.

Noch deutlicher ist das horizontale Schlauchstück (*b*) unterteilt, nur erscheinen hier nicht Querwände senkrecht zur Schlauchachse, sondern hier zeigen die Schlauchwände helle Verstärkungen, je von links oben und nach rechts unten zur dunklen Seele laufend und von links unten nach rechts oben ebenfalls zur dunklen Mittellinie verlaufend. Man erkennt *am oberen und unteren Schlauchrande* einander gegenüberliegend je wenigstens acht solche *Lichtverstärkungen* in etwa 20 cm Abstand voneinander (wie die Körner bei einer Gerstenähre, nur ohne Grannen und paarweise einander gegenüberliegend, nicht wechselständig). Zwischen zwei Lichtkörnern zeigt die Elmsschlange am Rande jeweils leichte Einschnürung. Möglich ist, daß es sich nicht um getrennte Leuchtmassen handelt, sondern daß der Schlauchwand entlang zwei um 180^0 versetzte, sich also gegenüberliegende leuchtende Spiralen laufen, also gewissermaßen zwei gewundene Büschelstiele;

[5]) Auffallend ist, daß die Photographie keine Spur irgendwelcher Beleuchtung oder von Schattenwirkung durch den Blitz erkennen läßt, wie sie ein Blitz sicher erzeugt hätte; *Knall und Lichtschein gehörte demnach zum Elmsfeuer*, ein naher Blitz fehlte wohl überhaupt.

[6]) Die mit Leuchten verbundene Molisation war also auf die Wandteile beschränkt, die Ionenpaare der Seele wurden wohl vor Molisation von der Strömung verbraucht.

[7]) Vgl. als Analogon die Abbildungen für wandernde Leuchtmassen in Abh. ISIS, Dresden 1898, Fig 18, Seite 15 und Tafel I, Phot. 32.

freilich ist erhöhte Helligkeit bei den Überkreuzungen nicht zu bemerken. Wahrscheinlicher ist folgende Auffassung, welche die Lichtknoten in *b*, die Querschichten in *c* und die endständigen Leuchtmassen als Abarten und Weiterbildungen der bekannten Schichtung des negativen Büschellichtbogens ansieht. Bei letzterem sind die Leuchtmassen oft wie Maiskolben mit kathodenseits stumpfem abgerundetem Ende aneinandergereiht, die spitzen Enden anodenseits stechen je in das stumpfe Ende der folgenden Leuchtmasse hinein[8]). In *b* haben wir als Weiterbildung leuchtende halbdurchsichtige Trichter mit verdicktem Randwulst links und verblassender Zuspitzung des leuchtenden Trichtermantels nach rechts ins Zentrum des Nachbartrichterwulstes hinein. Bei *c* erscheint der Trichterwulst zu einer leuchtenden Querscheibe verflacht und am spitzen Ende von *c* sind diese Scheiben zu Leuchtmassen lang ausgezogen. Diese Ausdeutung gewinnt an Wahrscheinlichkeit, wenn man annimmt, daß die Leuchterscheinung des Elmsfeuers sich um ein vielleicht von erhitzter, ja glimmender Rußstelle an dem Schornstein ausgehende nichtleuchtende Luftschliere aufbaute.

Da das gewundene erste Elmsfeuerstück (*a*) auf den Photographen hingerichtet war, läßt sich leider nicht entscheiden, ob, wie es scheint, das Elmsfeuer an seiner *Ansatzstelle* an die Eisenarmatur *keulenartig* verdickt war.

Bemerkenswert ist, daß sich außer dem einen großen Elmsfeuer nirgends an der Armatur oder in der Nachbarschaft auch nur eine Spur einer Leuchterscheinung, eines weiteren Elmsfeuers, erkennen läßt oder beobachtet wurde.

Die richtige Ausdeutung der geschilderten Einzelheiten dieses auffallenden Elmsfeuers ist zum Teil auch schon deshalb kaum möglich, weil man nicht weiß, ob eine verstärkte Helligkeit an den helleren Stellen der Photographie vorlag oder nur eine längere Leuchtzeit.

Jedenfalls wirft dieses Elmsfeuer mit seiner mehrere Meter langen einpoligen Schlauchbildung und mit seiner Neigung zur Leuchtmassenabsonderung in diesem Schlauche ein neues, vertiefendes Licht auf die Bildungsmöglichkeiten von Kugelblitzen auch ohne einen die Bahn öffnenden Linienblitz am Orte ihrer Entstehung[9]). Eine große Lücke in unseren Kenntnissen der Entladungserscheinungen in freier Luft wird geschlossen.

[8]) Vgl. M. TOEPLER, Abh. Isis, Dresden l. c. sowie einige Reproduktionen bei F. WOLF, Naturwiss. 31, 219 (1943). Alle Formen sind Folgen verschiedener Verteilung von Ionisation und Molisation in Strom und Feld.

[9]) Hierdurch ist eine der nach F. WOLF, „Das Gewitter und seine Entladungsformen", Naturwiss. 31, 222 (1943), noch offenen Fragen im wesentlichen beantwortet.

Die Probleme des Geschlechts.

MAX HARTMANNs Buch über die Sexualität.[1])

Von K. HENKE, Göttingen.

Die Befruchtung und die mit ihr zusammenhängenden Erscheinungen können zwar nicht zu jenen elementarsten Lebensvorgängen gehören, mit denen das stoffliche Leben auf der Erde seinen Anfang genommen hat, da sie bei den niedersten uns bekannten Formen des Lebens fehlen. Aber nachdem sie noch auf der Stufe der einzelligen Organisation entstanden waren, haben sie sich in einer erstaunlichen Mannigfaltigkeit von Abwandlungen in allen Verwandtschaftskreisen des Tier- und Pflanzenreiches erhalten. Sie scheinen zu jenen Lebenserscheinungen zu gehören, die mit der Höherentwicklung des organischen Lebens unlösbar verknüpft sind, ähnlich wie Altern und Tod oder die Bildung arbeitsteiliger Zellverbände, doch mit dem Unterschied, daß sich ihre Stellung im Haushalt des Lebens nicht ohne weiteres übersehen läßt. Daß ein vielzelliger Körper höhere Lebensleistungen vollbringen kann als die Einzelzelle, leuchtet unmittelbar ein. Altern und Tod erscheinen als bloße Begleitumstände einer Komplikation der Träger des Lebens, die seinem Bestand und seiner Höherentwicklung nicht im Wege stehen, da sie durch das Prinzip der Fortpflanzung ausgeglichen werden. Was die Befruchtung für das Leben bedeutet, ist nicht so rasch anzugeben. Eine Fülle der verschiedenartigsten Hilfsstrukturen ist ihretwegen entstanden, und in manchen Fällen sind die zur Einleitung der Befruchtung bestimmten Geschlechter einer Art in ihrem Bau einander so unähnlich geworden, daß man beim ersten Anblick mindestens Vertreter verschiedener Klassen vor sich zu haben glaubt. Wie stark sie auch auf die Funktionen des Organismus einwirkt, dafür bietet das psychische Leben der höheren Tiere bis hinauf zu der höchsten kulturschöpferischen Tätigkeit des Menschen eindrucksvolle Beispiele. Dennoch bildet sie keine grundsätzliche Notwendigkeit für den Bestand der Arten. Sie kann im Lauf der Phylogenie in den verschiedensten Verwandtschaftsgruppen des Tier- und Pflanzenreiches verloren gehen, und in anderen Fällen läßt sie sich, offenbar über beliebig lange Folgen von Generationen hinweg, ohne nach-

[1]) MAX HARTMANN: *Die Sexualität* (Das Wesen und die Grundgesetzlichkeiten des Geschlechts und der Geschlechtsbestimmung im Tier- und Pflanzenreich). Jena: Gustav Fischer 1943. X, 426 S. und 245 Abbild. Preis geb. RM 24,—, brosch. RM 22,—.

weisbare Beeinträchtigung des Lebens experimentell ausschalten. So scheint es unmöglich, das Wesen der Befruchtung aus einer einheitlichen Bedeutung für den Fortbestand des Artlebens abzulesen, wie es uns sonst für die mannigfachen Äußerungen des Lebens gewohnt ist. Es ist begreiflich und zugleich ein Glück für die Wissenschaft, daß diese gleichermaßen bedeutsame und geheimnisvolle Erscheinung einen an der Erfassung tieferer Zusammenhänge so stark interessierten, dabei mit so sicherem Blick für das Wesentliche ausgestatteten, so sehr mit Liebe und Ausdauer dem Experiment zugeneigten Geist wie MAX HARTMANN durch ein reiches wissenschaftliches Leben hindurch immer wieder beschäftigt hat. In dem vorliegenden Buch hat er nun die Ergebnisse der Forschung der letzten drei bis vier Jahrzehnte auf diesem Gebiet zusammengefaßt, an der er selbst hervorragenden, an einer Reihe von Punkten entscheidenden Anteil hat.

Den allgemeinen Ertrag dieser Arbeit bildet die Aufstellung dreier Grundgesetzlichkeiten der Sexualität im Tier- und Pflanzenreich, aus denen das Wesen der Sexualität bestimmt wird. Nach einführenden Vorbemerkungen wird im II. Kapitel die erste dieser Thesen entwickelt, nach der die Sonderung zweier und nur zweier Geschlechter ganz allgemein eine Grundvoraussetzung der Befruchtung bildet. Dieser von HARTMANN seit langem vertretene Satz von der allgemeinen bipolaren Zweigeschlechtlichkeit hat eine zweifache Bedeutung. Er besagt einerseits, daß ein Geschlechtsunterschied auch da die Grundlage der Befruchtung bildet, wo die kopulierenden Gameten weder in ihrem Bau noch im Verhalten eine sexuelle Differenzierung verraten, und insofern hat er durch die von HARTMANN in die Wege geleitete biochemische Erforschung der Befruchtungsvorgänge und ihrer Voraussetzungen bei der einzelligen Alge Chlamydomonas, die von KUHN (Heidelberg) und seinen Mitarbeitern im Zusammenwirken mit HARTMANNs Schüler MOEWUS in jüngster Zeit zu erstaunlichen Erfolgen geführt wurde, eine entscheidende Stütze erfahren. Es ist ganz unwahrscheinlich geworden, daß eine Befruchtung ohne geschlechtliche Differenzierung überhaupt möglich ist, und wenn man an einer solchen Annahme für andere Fälle festhalten will, so muß sie jetzt auf derselben biochemischen Grundlage wie der Geschlechtsunterschied bei Chlamydomonas bewiesen werden. Anderseits schließt der Satz von der allgemeinen bipolaren Zweigeschlechtlickeit die durch gewisse Befunde nahegelegte Vermutung aus, daß bei bestimmten Arten auch mehr als zwei verschiedene Geschlechter auftreten könnten, die jeweils paarweise miteinander kopulieren. Tatsächlich hat die nähere Analyse gezeigt, daß in diesen Fällen Sterilitätsfaktoren im Spiel sind, durch deren Wirkung der Eindruck einer Mehrheit von Geschlechtern nur vorgetäuscht wird.

Näher geschildert werden die hier schon angedeuteten Tatsachen erst im III. Kapitel, das bei weitem den Hauptteil des Buches ausmacht. Im übrigen wird hier das Material für die beiden anderen von HARTMANN aufgestellten Grundgesetzlichkeiten der Sexualität vorgelegt, welche sich auf die Entstehung der zweigeschlechtlichen Differenzierung beziehen: das Gesetz der allgemeinen bisexuellen Potenz, nach dem jede differenzierte Form, sei es der ganze vielzellige Organismus oder die einzelne Keimzelle, sich entweder nach der männlichen oder nach der weiblichen Seite differenzieren kann, und das Gesetz von der relativen Stärke der männlichen und weiblichen Determinierung, welches die Realisierung eines bestimmten Geschlechts auf das jeweilige Stärkeverhältnis zwischen männlich und weiblich bestimmenden Determinationsfaktoren zurückführt. Den Leitfaden, an dem die Hauptmasse des wohl kaum von einem zweiten so vollständig überblickten Stoffes aufgereiht ist, bildet die Geschlechtsbestimmung mit ihren vier Haupttypen, die sich einerseits aus ihrem Zeitpunkt, in der Haplophase oder der Diplophase des Lebenszyklus der Arten, andererseits aus ihrer modifikatorischen oder genotypischen Bedingtheit ergeben. Die Grundergebnisse dieses Teils werden in einem eigenen, der Theorie der Sexualität gewidmeten Kapitel noch einmal im Zusammenhang erörtert.

Einen der klarsten Beweise der allgemeinen bisexuellen Potenz bildet die von HARTMANN vorausgesagte, dann nach langer Arbeit auch von ihm zuerst aufgefundene Erscheinung der relativen Sexualität. Sie besteht darin, daß jedes der beiden Geschlechter in verschiedenen Stärkegraden auftreten kann, die für beide auf der gleichen Skala liegen. Die Träger schwacher Ausprägungsgrade eines Geschlechts können daher im Extremfall starken Vertretern des gleichen Geschlechts gegenüber die Rolle des anderen Geschlechts übernehmen. Am unübersichtlichsten liegen die Verhältnisse bei der eigentlichen Geschlechtsdeterminierung, auf welche sich die letzte der genannten, von HARTMANN aufgestellten Gesetzlichkeiten bezieht. Die allgemeine Aussage dieses Satzes, die Bestimmung des Geschlechts beim einzelnen Individuum auf Grund des jeweiligen Stärkeverhältnisses zwischen den in Richtung auf männliche und weibliche Determinierung wirkenden Faktoren, ist durch zahlreiche Untersuchungen, für die haploiden Organismen wiederum zu einem großen Teil durch HARTMANN und seine Schule, vielfach bestätigt worden. Dabei ist nun fast überall, wo nähere Analysen vorliegen, eine Mehrheit von Erbfaktoren festgestellt, die an der Determinierung des Geschlechts beteiligt sind, und wo die Geschlechtbestimmung genotypisch erfolgt, wirken jeweils einzelne von ihnen als Geschlechtsentscheider, deren Verteilung das Geschlecht des einzelnen Individuums bestimmt. Hinsichtlich ihres Erbganges lassen sich mehrere

Typen unterscheiden, und so ergeben sich auch für verschiedene Fälle verschiedene genetische Formulierungen der Geschlechtsbestimmung. Sie werden von HARTMANN mit dem Bestreben nach möglichst einheitlicher Auffassung eingehend erörtert. Er betont, daß es sich bei den geschlechtsentscheidenden Faktoren nicht notwendig um durchweg homologe Gene handeln müsse, hält es aber doch für keineswegs ausgeschlossen. Tatsächlich wird ja einer so allgemeinen Grunderscheinung wie der Sexualität etwas Einheitliches zugrunde liegen, und dies Postulat ist es wohl, das HARTMANN bestimmt, mit jener Möglichkeit zu rechnen. Auch wenn, wie es sicher anzunehmen ist, an der Ausgestaltung der Sexualitätserscheinungen bei den einzelnen Arten mannigfach wechselnde Erbfaktoren beteiligt sind, mögen doch bestimmte Grundfaktoren überall wiederkehren, und es wäre wohl denkbar, daß die vielfach unabhängig entstandene erbliche Geschlechtertrennung, wenn nicht immer, so doch häufig und mindestens innerhalb einzelner Verwandtschaftkreise jeweils auf entsprechenden Mutationen dieser Faktoren beruht. Der von HARTMANN und seinen Mitarbeitern eröffnete Weg der genphysiologischen Analyse der Geschlechtsbestimmung wird wohl bald noch weiteres Material zu dieser Frage liefern.

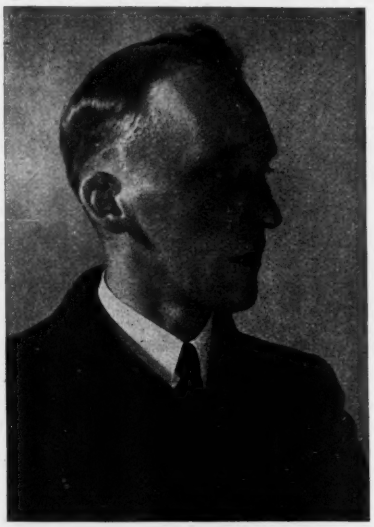
Den Schluß des Werkes bildet ein Kapitel über das Befruchtungsproblem. Hier wird geschildert, was bisher über die Wirkung bestimmter Stoffe beim Zustandekommen des Befruchtungsaktes bekannt ist, insbesondere die von HARTMANN, KUHN und ihren Mitarbeitern erzielten Ergebnisse hinsichtlich der Gamone der Seeigel. Die hier festgestellten Tatsachen bilden eine Bestätigung und zugleich die nähere Konkretisierung einer von HARTMANN entwickelten, auf Ansätzen von BÜTSCHLI und SCHAUDINN fußenden Theorie, nach der die sexuelle Differenzierung der Gameten nicht nur eine ständige Begleiterscheinung, sondern die unmittelbare Ursache der Annäherung und Verschmelzung der Gameten ist. Diese Sexualitätstheorie der Befruchtung wird nun jenen anderen Theorien gegenübergestellt, die das Wesen der Befruchtung nicht aus ihren Voraussetzungen, sondern aus ihrem Erfolg ablesen wollen, sei es als Amphimixislehre oder als Verjüngungshypothese. Vom Standpunkt der Amphimixislehre gesehen, bildet die Befruchtung durch die Möglichkeit der Herstellung verschiedener Kombinationen von Erbfaktoren innerhalb einer Art, zwischen denen die Selektion auswählen kann, ein Grundprinzip für die Aufwärtsentwicklung des Lebens und die Entfaltung seines Stammbaumes. Über ihre phylogenetische Entstehung oder gar über ihre kausale Bedingtheit im Einzelfall ist damit natürlich nichts ausgesagt. Ist sie aber einmal gegeben, so kann sie als wertvolles Hilfsmittel für die Anpassungsfähigkeit des Genotypus durch die Selektion geschützt und entwickelt werden. Ihre Bedeutung liegt damit nicht in der Sicherung des Artbestandes, sondern ebenso wie die der Mutabilität tiefer, in der Möglichkeit, den Bestand des Lebens selbst gegenüber dem ständigen Wechsel seiner Umwelt durch Veränderungen der Arten zu erhalten und immer besser zu sichern. Diese Funktion der Befruchtung schließt nicht aus, daß andere hinzukommen. So könnten, wie es die Verjüngungshypothese annimmt, gewisse im Gefolge der Befruchtung eintretende Erneuerungsvorgänge eine Lebensnotwendigkeit für diejenigen Organismen darstellen, bei denen eine Befruchtung vorkommt. Tatsächlich deckt nun weder die Amphimixislehre noch die Verjüngungshypothese das ganze Gebiet der Befruchtungserscheinungen. In den extremen Fällen von Autogamie wird nur ein bestimmtes Erbgut auf Grund einer nicht genetisch bedingten Geschlechtsdifferenzierung verdoppelt, so daß keine Neukombination von Erbfaktoren stattfinden kann. Daß auch die Verjüngungshypothese jedenfalls nicht ohne Ausnahme zutrifft, haben HARTMANN selbst und sein Schüler BELAR in langjährigen Versuchen bewiesen. Der Satz von einer allgemeinen Zweigeschlechtlichkeit als kausaler Grundlage der Befruchtung ist damit die allgemeinste Aussage, die sich über die Befruchtung überhaupt machen läßt, jedenfalls die einzige, für die wir bis heute keine Ausnahme kennen. Natürlich steht weder die Amphimixislehre noch die Verjüngungshypothese zu der Sexualitätstheorie HARTMANNs in Widerspruch. Sie liegen ja auf einer ganz anderen Ebene, da sie nach der Bedeutung der Befruchtung im Haushalt des Lebens, nicht nach dem Mechanismus fragen, der sie hervorruft. Aber sicher hat HARTMANN mit seiner Art, das Befruchtungsproblem anzugreifen, nicht nur eine zur Ergänzung jener älteren Fragestellungen wichtige, sondern damit zugleich die bis heute fruchtbarste Frage gestellt.

Hermann Wattenberg zum Gedächtnis.

Bei dem schweren Terrorangriff auf Kiel am 24. Juli 1944 wollte das Schicksal, daß Prof. Dr. HERMANN WATTENBERG, Direktor des Instituts für Meereskunde an der Universität Kiel, in seinem Institut in Kitzeberg sein Leben lassen mußte. Durch seinen Tod hat die Wissenschaft, insbesondere die deutsche Ozeanographie, einen schweren, kaum ersetzbaren Verlust erlitten. Denn er war wohl unter den wenigen Ozeanographen einer, der die chemische Seite der Meeresforschung zu seinem besonderen Untersuchungsgebiet gewählt hat und hierin auch in Anbetracht der Wichtigkeit der Meereschemie für die Biologie des Meeres und die Fischerei beachtliche Erfolge erzielen konnte.

HERMANN WATTENBERG wurde am 16. April

1901 in Berlin als Sohn des Regierungsbaumeisters ERNST WATTENBERG geboren. Bald darauf zogen die Eltern nach Essen/Ruhr, wo der Vater schon 1906 starb. Die Mutter übersiedelte mit den Kindern nach Hannover, wo er 1919 das Abitur bestand. Nach dem Studium naturwissenschaftlicher Fächer, insbesondere der Chemie, an der Technischen Hochschule in Hannover und an der Universität in München promovierte er 1923 dortselbst und trat als Chemiker bei Riedelde Häen ein. Später wurde er Assistent bei Prof. VON WARTENBERG an der Technischen Hochschule in Danzig. Bis zu dieser Zeit war kaum eine Verbindung zwischen WATTENBERG und der Ozeanographie vorhanden. Sie trat erst ein, als auf Empfehlung von Geheimrat HABER und Prof. A. MERZ der Präsident der Deutschen Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft Exzellenz SCHMIDT-OTT WATTENBERG die Chemikerstelle bei der großen Deutschen Atlantischen Expedition des „Meteor" anbot und er im vollen Bewußtsein der verantwortungsvollen Aufgabe, die er übernehmen sollte, freudig zusagte. So hat er dann auf der fast zweieinhalbjährigen „Meteor"-Fahrt 1925—1927 mit nur wenigen technischen Hilfskräften persönlich das gesamte chemische Beobachtungsmaterial gesammelt, wobei ihm bei dem damaligen Stand der Meereschemie auch die Aufgabe zufiel, die modernen chemischen Methoden für Bordzwecke benutzbar und sozusagen frontreif zu machen. Mit besonderem Geschick hat er sich dieser nicht leichten Aufgabe unterzogen, und die Reichhaltigkeit, Güte und Zuverlässigkeit des chemischen Beobachtungsmaterials des „Meteor" sind ausschließlich sein Verdienst. Nach Abschluß der Expedition hat er sich in den folgenden Jahren als Notgemeinschaftsassistent zuerst in München, dann im Institut für Meereskunde in Berlin der Aufarbeitung dieses enormen Beobachtungsmaterials gewidmet, und die Ergebnisse füllen zwei Bände des „Meteor"-Werkes (VIII und IX mit Atlas), in denen zum erstenmal in systematischer Weise die räumliche Verteilung der chemischen Faktoren des Meerwassers für einen ganzen Ozean gegeben und in Zusammenhang mit den anderen ozeanographischen und biologischen Erscheinungen eingehend diskutiert werden. Diese beiden Bände werden für lange Zeit grundlegend für die Chemie des Meeres bleiben. Für die bedeutsame Stellung, die er sich in der internationalen Meeresforschung schon damals erworben hatte, zeugt seine Wahl in die vom internationalen Rat für Meeresforschung in Kopenhagen eingesetzte chemische Kommission, der vor allem eine genaue Untersuchung des Kohlensäuresystems des Meeres oblag. In engster und freundschaftlicher Zusammenarbeit mit seinen Kollegen BUCH (Finnland) und HARVEY (England) ist dieses für die Meereskunde und die Biologie des Meeres so überaus wichtige Problem nach modernen Methoden einem erfreulichen Abschluß zugeführt worden. Durch alle diese Forschungsarbeiten, durch seine weitere Teilnahme an zwei Fahrten des „Meteor" in die isländisch-grönländischen Gewässer, bei denen er vor allem den wichtigen Beziehungen zwischen dem Nährstoffgehalt des Meerwassers und dem Plankton des Meeres nachging, ist WATTENBERG aus einem Chemiker ein Ozeanograph geworden, der prädestiniert war, die Verbindungen zwischen der Chemie, der Ozeanographie und der Meeresbiologie, die in ihrer Entwicklung so vielversprechend sind, zu fördern und zu vertiefen.



Diese Umstellung zeigt sich auch darin, daß er sich 1934 an der Universität Kiel, die große meereskundliche Traditionen hat, für Ozeanographie habilitierte und noch in demselben Jahr einen Lehrauftrag für dieses Fach erhielt. Seine ganze Arbeitskraft widmete er dann dem Ausbau des neugegründeten Instituts für Meereskunde in Kiel, in dessen Abteilung für Hydrographie er zunächst Abteilungsleiter geworden war. Dieser Ausbau erfolgte nach zwei Arbeitsrichtungen, die an anderen ähnlichen Instituten bisher nur wenig gepflegt werden, nämlich: die Chemie des Meeres und die Beziehungen derselben zur Meeresbiologie und Fischerei. Daneben nahm er an der ersten Teilfahrt der Deutschen Nordatlantischen Expedition des „Meteor" Februar-Mai 1937 in die westafrikanischen Gewässer teil und führte von Kiel aus kleinere Fahrten des Instituts in die Nord- und Ostsee durch. Es lag ihm dabei vor allem das Problem des Wasseraustausches zwischen der Nord- und Ostsee am Herzen, deren Untersuchung er schon mit vorhandenem Beobachtungsmaterial nach originellen und

modernen Methoden in Angriff nahm. Seine Arbeiten über den Nachweis und die Rolle von Spurenelementen im Meerwasser gehen laufend nebenbei, und in letzter Zeit interessierte er sich besonders für die Optik des Meerwassers, alles Probleme, die ganz in der Arbeitsrichtung seines Instituts lagen. Die Bedeutung seiner Arbeiten für praktische Zwecke der Meereskunde erhellt auch daraus, daß er in relativ jungen Jahren zum ordentlichen Mitglied der Deutschen Wissenschaftlichen Kommission für Meeresforschung ernannt wurde. 1938 rückte er dann zum außerordentlichen, Mai 1944 zum ordentlichen Professor der Ozeanographie an der Universität Kiel und zum Institutsdirektor auf.

Der Krieg, dessen Opfer er wurde, hat seine wissenschaftlichen Arbeiten nur teilweise unterbrochen. Nach aktiver Teilnahme am Polenfeldzug wurde er als wissenschaftlicher Ozeanograph beim Marineobservatorium in Wilhelmshaven eingezogen und war seit 1943 Oberregierungsrat d. R. Als solcher hat er an zahlreichen Fahrten auf Forschungsschiffen der Kriegsmarine ins Nordmeer, ins Mittelmeer, in die Nord- und Ostsee für Kriegszwecke teilgenommen.

Ein echtes Gelehrtenleben hat am 24. Juli 1944 ein plötzliches Ende gefunden. Zielbewußt, mit großem Fleiß und Opferfreudigkeit hat er die sich ihm in der Entwicklung der Ozeanographie bietenden wissenschaftlichen Aufgaben angegangen und zu lösen gesucht. Vieles hätte man noch von ihm gerade durch die Beherrschung zweier großer Gebiete der Naturwissenschaft erwarten können. So hat er der Deutschen Ozeanographie nun das Vermächtnis hinterlassen, der von ihm in Angriff genommenen Untersuchungen der Beziehungen zwischen der Ozeanographie, Chemie und Biologie des Meeres nicht zu vergessen. Aber auch seiner als Menschen wollen wir nicht vergessen, ihn, den alle, die ihn näher kannten, als einen charakterfesten, liebenswürdigen und stets bescheidenen Wissenschaftler außerordentlich schätzten.

A. DEFANT.

Kurze Originalmitteilungen.

Hämiglobin und Pasteur-Effekt.

Gesunde Zellen höherer Tiere, mit Ausnahme der roten Zellen, atmen in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre und gären nur bei Sauerstoffmangel. Die Unterdrückung der Gärung durch den Sauerstoff ist als PASTEUR-Effekt bekannt. Rote Zellen der Säugetiere atmen nur sehr wenig und gären auch in Gegenwart von Sauerstoff. Die Gärung verläuft in einer Atmosphäre von Kohlenoxyd und von Sauerstoff gleich schnell, wird also von diesem nicht beeinflußt. Der Mechanismus, durch den der Sauerstoff Einfluß auf den Gärungsablauf gewinnt, ist im einzelnen noch nicht geklärt. Einerseits ist vorstellbar, daß WARBURGs eisenhaltiges Atmungsferment mit anschließenden Fermentketten den Gärungsvorgang ablenkt, andererseits haben STERN und MELNICK[1]) ein Ferment nachgewiesen, das die Hemmung der Gärung durch Sauerstoff katalysiert, und haben es PASTEUR-Ferment genannt. Ein einfaches Modell des PASTEUR-Effekts ist bei Gegenwart von Hämiglobin in den roten Zellen des Meerschweinchens oder Kaninchens gegeben. Bei Anwesenheit von Glukose wird Hämiglobin reduziert. Dabei tritt Brenztraubensäure auf, deren Menge höchstens dem reduzierten Hämiglobin äquivalent wird. Gleichzeitig ist die Bildung von Milchsäure stark vermindert (Tabelle 1). Die Brenztraubensäure ist im wesentlichen nicht aus Milchsäure, sondern auf anderem Wege entstanden[2]). Hämiglobin löst also in den roten Zellen Stoffwechselveränderungen aus, die dem PASTEUR-Effekt in atmenden Zellen ähnlich sind. Dabei ist freilich zu berücksichtigen, daß den roten Zellen viele Fermente der atmenden Zellen fehlen.

Tabelle 1. Gärung und Reduktion des Hämiglobins in den roten Zellen vom Kaninchen.

Zellen im Serum suspendiert, Gesamthämiglobin 14,3%, Gasraum CO + 5% CO_2, Temperatur 37,5°

Hämiglobinfreie Zellen		Hämiglobinhaltige Zellen		
Milchsäure Mol/l/Std. × 10^3	Brenztraubensäure Mol/l/Std. × 10^3	Hämoglobin Äquivalente/l/Std. × 10^3	Milchsäure Mol/l/Std. × 10^3	Brenztraubensäure Mol/l/Std. × 10^3
1,7	0,03	1,7	0,1	0,7

Berlin, Pharmakologisches Universitätsinstitut, den 28. August 1944. MANFRED KIESE.

[1]) K. G. STERN u. J. C. MELNICK, J. biol. Chemistry 139, 301 (1941); 141, 269 (1941). — Science 94, 118 (1941).

[2]) M. KIESE u. W. SCHWARTZKOPFF, Arch. Path. exp. Pharm. (im Druck).

Regeln über die Lage von Isotopenaustauschgleichgewichten.

Der Unterschied im chemischen Verhalten von Isotopen, wie er etwa bei Austauschgleichgewichten zutage tritt, ist bekanntlich zum größten Teil eine Folge des Unterschiedes in der Nullpunktsenergie der betrachteten Moleküle. Das kommt in einer bekannten, sehr einfachen Regel zum Ausdruck, die lautet:

Im Gleichgewicht ist das schwere Isotop stets in derjenigen Verbindung angereichert, in der auf das betrachtete Element die stärkeren Bindungsfederkräfte wirken.

Von besonderem Interesse für Verfahren zur Isotopentrennung ist die Verteilung von Isotopen zwischen einer gasförmigen und einer flüssigen Phase, und zwar speziell bei Fällen, bei denen das zu trennende Element in der Flüssigkeit vorwiegend in Ionen vorliegt. Für solche Fälle gibt WALDMANN[1]) die folgende Regel an:

Beim Gleichgewicht „Gas ⇄ gelöste Molekel und Ionen" wird stets das schwere Isotop in der Flüssigkeit angereichert, wenn die Ionen mehr innere Frei-

heitsgrade als die Gasmolekeln besitzen. Bei weniger Freiheitsgraden ist beiderlei Vorzeichen der Trennung denkbar.

Diese Regel ergibt sich unmittelbar aus der ersten, wenn man erstens berücksichtigt, daß der Ersatz der Zustandssummen für Translation und Rotation im Gas durch die der Schwingungen im Flüssigkeitsgitter im gleichen Sinne wirkt wie eine Vergrößerung der Bindungsfederkräfte, und wenn man zweitens annimmt, daß eine Erhöhung der Anzahl der inneren Schwingungsfreiheitsgrade eine Vergrößerung der Summe der Bindungsfederkräfte zur Folge hat. Man kann unschwer zeigen, daß von beiden Regeln Ausnahmen möglich sind, und im Folgenden soll daher ein Weg angegeben werden, um die Abschätzung eines Austauschgleichgewichtes der genannten Art etwas exakter durchzuführen.

Das Austauschgleichgewicht Molekül (gasf.) $\rightleftarrows$ Ion (flüssig) zerlegt man zweckmäßig in die beiden Schritte:

I. Molekül (gasf.) $\rightleftarrows$ Ion (gasf.),
II. Ion (gasf.) $\rightleftarrows$ Ion (flüssig).

Für ungeladene Molekel läßt sich ein Gasgleichgewicht aus den spektroskopisch ermittelten Moleküldaten exakt berechnen; bei Ionen sind diese Daten zumeist nicht bekannt, sie lassen sich jedoch abschätzen[2]), wenn man anstatt mit dem Ion mit einer neutralen Molekel der gleichen Elektronenkonfiguration rechnet (also z. B. mit CH_4 statt mit NH_4^+, oder mit NH_3 statt OH_3^+), jedoch erstens mit den Atomgewichten des Ions und zweitens mit folgendermaßen korrigierten Valenzfederkräften: etwas stärkere Federkräfte bei positiver Ladung des Ions, etwas schwächere bei negativer Ladung. Denn da beim Ion die Kernladung des die Ionenladung tragenden Atoms sich um eine Einheit von der des Vergleichsmoleküls unterscheidet, so wird die Elektronenhülle dieses Atoms bei positiver Ladung etwas kontrahiert, bei negativer Ladung etwas erweitert sein, so daß ein Ion bei positiver Ladung kleinere Kernabstände und somit stärkere Bindungsfederkräfte, ein negativ geladenes Ion hingegen größere Kernabstände und dementsprechend kleinere Bindungsfederkräfte besitzen wird als das entsprechende neutrale Molekül gleicher Elektronenkonfiguration.

Beim Teilgleichgewicht II, dem Austauschgleichgewicht zwischen dem Ion in der Gasphase und der Flüssigkeit, werden sich zwei Faktoren geltend machen: Erstens das Auftreten neuer Schwingungen im Flüssigkeitsgitter, dieses wirkt stets im Sinne einer Anreicherung des schweren Isotops in der flüssigen Phase; zweitens Veränderungen der Bindungsfederkräfte innerhalb des Ions, insbesondere der Bindungen von Wasserstoffatomen durch Wasserstoffbrückenbildung in wässerigen Lösungen. Wasserstoffbrücken werden eine Verkleinerung der vorhandenen Bindungsfederkräfte zur Folge haben und somit im Sinne einer Anreicherung des schweren Isotopes in der Gasphase wirken. Über das Auftreten von Wasserstoffbrücken bei Ionen ist nichts näheres bekannt. man wird jedoch auch hier erwarten, daß die Verhältnisse qualitativ ähnlich sind wie bei den Molekülen mit gleicher Elektronenkonfiguration, also etwa daß die Festigkeit der Brückenbindung bei den Ionen in der Reihe NH_4^+, H_3O^+, FH_2^+ und OH^- von links nach rechts in ähnlicher Weise zunehmen wird wie bei den entsprechenden Molekülen in der Reihe CH_4, NH_3, OH_2 und FH.

Eine Möglichkeit, diese Vorschläge auf ihre Brauchbarkeit zu prüfen, bieten Deuteriumaustauschgleichgewichte. In der Tabelle sind Gleichgewichtskonstante von Reaktionen des Typus

$$AH_{n-1}D + H_2O \rightleftarrows AH_n + HDO,$$

$$K = \frac{[AH_{n-1}D]\,[H_2O]}{[AH_n]\,[HDO]}$$

angegeben, und zwar links für Austauschgleichgewichte mit Ionen des Typus AH_n in Lösung[3]), rechts für die zum Vergleich herangezogenen Gasreaktionen[4]) (umgerechnet für flüssiges Wasser als Austauschpartner). Die Werte gelten für 20° C; der den Symmetriezahlen Rechnung tragende Faktor n/2, der hier nicht interessiert, ist herausgezogen.

Lösung		Gas	
AH_n	$K_L \cdot 2/n$	AH_n	$K_G \cdot 2/n$
OH_3^+	0,78	NH_3	0,74
OH^-	0,55	HF	>1
NH_4^+	1,20	CH_4	0,95

Für die in der Tabelle angeführten Beispiele ergibt sich nun folgendes Bild:

Zeile 1 (OH_3^+ und NH_3): Der Einfluß der positiven Ladung und der Wasserstoffbrückenbindung heben sich auf: $K_L \approx K_G$.

Zeile 2 (OH^- und HF): Negative Ladung und starke Brückenbindung wirken im gleichen Sinne; $K_L < K_G$.

Zeile 3 (NH_4^+ und CH_4): Der Einfluß der positiven Ladung überwiegt den der schwachen Wasserstoffbrückenbindung; $K_L > K_G$.

Die vorstehenden Überlegungen können auf Austauschgleichgewichte mit andern Isotopen angewandt werden, von denen die Austauschgleichgewichte des ^{15}N zwischen NH_3 (Gas) und NH_4^+ (Lösung) und des ^{13}C und ^{15}N zwischen HCN (Gas) und CN^- (Lösung) für Isotopentrennverfahren praktische Bedeutung besitzen. Besonders das letztere Gleichgewicht ist theoretisch von Interesse, da hier das schwere Kohlenstoffisotop in der Gasphase, das schwere Stickstoffisotop jedoch in der Lösung angereichert wird[5]). Dieser Befund kann wohl nur so gedeutet werden, daß in der Lösung auf das N-Atom stärkere Kräfte wirken als auf das C-Atom. Es ist beabsichtigt, auf die Deutung dieses Sachverhaltes in einer anderen Veröffentlichung näher einzugehen.

Hamburg, Institut für physikalische Chemie der Universität, und Hannover, Institut für theoretische Physik der T. H., den 9. September 1944.

H. SUESS. H. JENSEN.

[1]) L. WALDMANN, Naturwiss. 31, 205 (1943).

[2]) Die Abschätzung ließ sich durchweg bestätigen in den wenigen Fällen, wo für Moleküle und Ionen gleicher Elektronenkonfiguration die Spektren bei SPONER angegeben sind.

[3]) Aus Messungen von Dissoziationskonstanten von Säuren in leichtem und schwerem Wasser berechnet. Näheres bei G. SCHWARZENBACH, Z. Elektrochem. 44, 46 (1938).

[4]) Berechnete Werte von J. O. HALFORD, J. chem. Physics 8, 243 (1940) und von TH. FÖRSTER. Siehe K. WIRTZ, Z. physik. Chem., Abt. B, 30, 289 (1935). Die Unsicherheit der Zahlenwerte ist bei den berechneten Gasgleichgewichten etwa ebenso groß wie bei

den Ionengleichgewichten. Der Fehler beträgt schätzungsweise: ± 0,2 (1—K).

[5]) HUTCHINSON, STEWART u. UREY, J. chem. Physics 8, 532 (1940).

Zur Deutung der Häufigkeitsverteilung der Elemente.

Es ist verschiedentlich die Frage aufgeworfen worden[1]), ob das Häufigkeitsverhältnis der Atomkerne einem eingefrorenen Gleichgewichtszustand entspricht. C. F. v. WEIZSÄCKER hat darauf hingewiesen, daß es dabei zweckmäßig sei, sich zunächst auf die Häufigkeitsverteilung benachbarter Isotope zu beschränken.

Wir bezeichnen das Isotop mit der Massenzahl A eines beliebigen chemischen Elementes X mit X^A und dessen Häufigkeit wie üblich durch $[X^A]$, dann gibt die SAHAsche Formel

$$\log \frac{[X^A]}{[X^{A+1}]} = \log \frac{\Sigma^*_A}{\Sigma^*_{A+1}} - f(T, \varrho) \qquad (1)$$

Darin sind Σ^* die Zustandssummen der betreffenden Kerne, und $f(T, \varrho)$ ist eine universelle Funktion von Temperatur und Neutronendichte, die wir im folgenden als eine Konstante ansehen wollen. Wenn wir im Verhältnis der Zustandssummen den Translationsanteil weglassen, der ja für benachbarte Isotope nahezu gleich ist, so können wir schreiben:

$$\Sigma^* = e^{-\frac{E^0}{kT}} \left(g_0 + \Sigma g_i e^{-\frac{E_i}{kT}} \right) = e^{-\frac{E^0}{kT}} \cdot \Gamma. \qquad (2)$$

Darin sind E^0 die Energien des Grundzustandes, E_i die Anregungsenergien des Kerns, g_0 und g_i die entsprechenden statistischen Gewichte. Die runde Klammer, d. h. das Gewicht des Grundzustandes und den Beitrag der höheren Niveaus haben wir im Faktor Γ zusammengefaßt. So erhalten wir aus (1) die Beziehung[2]):

$$\frac{\Delta E_A}{kT} = -\log \frac{[X^A]}{[X^{A+1}]} + \log \frac{\Gamma_A}{\Gamma_{A+1}} + f. \qquad (3)$$

Darin ist $\Delta E_A = E_A{}^0 - E^0{}_{A+1}$ die Bindungsenergie eines Neutrons an den Kern X^A. Diese Gleichung muß für beliebige X gelten. Selbst wenn man nur jeweils das Häufigkeitsverhältnis eines Kernes mit seinem Nachbarisotop untersuchen will, so kann man doch zur Prüfung der Frage, inwiefern ein thermisches Gleichgewicht vorliegt, die Gesamtheit aller Kerne heranziehen und ist nicht etwa auf die Folge dreier Isotopen des gleichen Elements beschränkt[3]).

Wenn wir zunächst von den Schwankungen der Γ absehen, so sollten wir eine abfallende Gerade erhalten, wenn wir die Bindungsenergien gegen den Logarithmus des Häufigkeitsverhältnisses auftragen.

Das experimentelle Material[4]) ist in der Fig. 1 zusammengefaßt. Zu jedem Punkt beigeschrieben haben wir das Symbol des leichteren der beiden Isotope, also X^A. Schwerere Kerne ($A > 80$), für die die Bindungsenergien nicht so genau bekannt sind, haben wir durch ein Kreuz markiert.

Wie man sieht, ist eine gewisse Korrelation vorhanden im erwarteten Sinne, jedoch streuen die Punkte sehr stark. Die im Term Γ zusammengefaßte Unbestimmtheit der Multiplizität des Grundzustandes und der Beiträge der Anregungsniveaus machen eine Horizontalverschiebung der einzelnen Punkte möglich. Da die Γ definitionsgemäß größer als 1 sind und ein Wert der Größenordnung 10 schon recht selten sein dürfte, wäre höchstens in einzelnen Fällen mit einer Verschiebung um eine Einheit des Abszissenmaßstabes

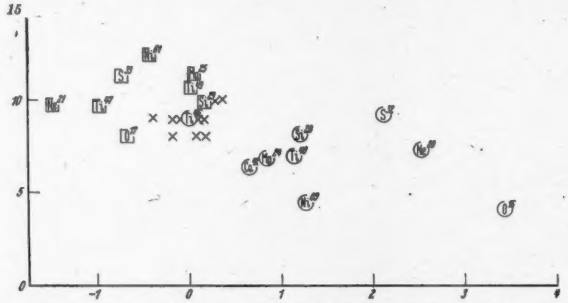


Fig. 1. Abszisse: Dekadischer Logarithmus des Häufigkeitsverhältnisses des angegebenen Kernes zu seinem nächstschweren Isotop.

Ordinate: Bindungsenergie des nächsten Neutrons in MeV. Die Kreuze gehören zeilenweise von links nach rechts gelesen zu den folgenden Kernen: Mo^{96}, Sn^{118}; Mo^{97}, Gd^{157}, Gd^{155}, Mo^{95}, Pt^{194}; Mo^{94}, Pt^{195}, Gd^{196}.

zu rechnen. Die größten Γ-Werte sind bei den ungeraden Massenzahlen zu erwarten (von Null verschiedener Spin, tiefer liegende Anregungsniveaus). Die durch einen Kreis markierten Punkte werden deshalb allgemein nach rechts, die durch ein Quadrat markierten nach links rücken. Jedoch würde sich durch eine solche Horizontalverschiebung das Zusammenrücken der Punkte auf eine Gerade kaum vollständig erreichen lassen. Ob eventuelle Veränderungen von Massenwerten, d. h. Vertikalverschiebungen einzelner Punkte auch in diesem Sinne wirken werden, ist natürlich nicht vorauszusagen; durch willkürliche Verschiebung innerhalb der bei MATTAUCH und FLÜGGE angegebenen Fehlergrenzen läßt sich der lineare Zusammenhang nur unwesentlich besser annähern.

Die Neigung der Geraden, die man durch die Punktmenge legen würde, entspricht einem kT von etwa $^1/_2$ MeV, d. i. einem T von etwa $5 \cdot 10^9$ ^0K. Die starke Streuung läßt erkennen, daß es nicht sehr sinnvoll ist, die Temperatur mit irgendeinem herausgegriffenen Paar von Häufigkeitsverhältnissen zu berechnen.

Zur Betrachtung der Verhältnisse bei Isotopen, die sich um zwei Neutronen unterscheiden, ergibt sich durch Iteration aus Gl. (3) die Beziehung

$$\frac{\Delta^2 E_A}{kT} = -\log\frac{[X^A]}{[X^{A+2}]} + \log\frac{\Gamma_A}{\Gamma_{A+2}} + 2f, \quad (4)$$

worin $\Delta^2 E_A = E_A{}^0 - E^0{}_{A+2}$ die Bindungsenergie der beiden nächsten Neutronen an den Kern X^A ist. Für die Prüfung dieser Beziehung liegt wesentlich mehr experimentelles Material vor, das wir in der Fig. 2 zusammengestellt haben.

Die Werte streuen noch stärker als in Fig. 1 und es gehört schon einiger guter Wille dazu, wenigstens denselben Trend herauszulesen. Wenn auch die Daten nicht ausgesprochen ein thermisches Gleichgewicht ausschließen, so wird man doch schließen müssen, daß daneben eine Reihe weiterer Faktoren (Einfangquerschnitte usw.) die Elementverteilung im einzelnen wesentlich mitbestimmt haben.

Ob das starke Herausfallen von Ni^{58}/Ni^{60} reell ist, oder durch Fehler in den Massenwerten bedingt ist, möchten wir offen lassen. Dagegen ist es interessant, daß das einzige ebenso starke Herausfallen des Paares A^{38}/A^{40} eine geophysikalische Erklärung zuläßt, die die abnorme Häufigkeit von A^{40} deutet durch ursprünglich starkes Entweichen des Argons aus der Erdatmosphäre und Nachlieferung von A^{40} durch radioaktiven Zerfall von K^{40}.

Hannover, Institut für theoretische Physik der T. H., und Hamburg, Institut für physikalische Chemie der Universität, den 9. September 1944.

H. JENSEN. H. SUESS.

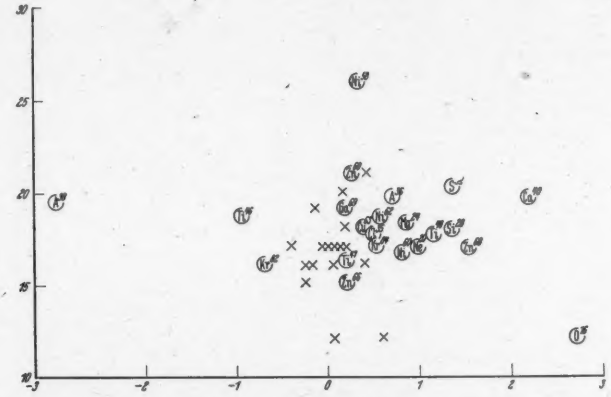


Fig. 2. Abszisse: Dekadischer Logarithmus des Häufigkeitsverhältnisses des angegebenen Kernes zum übernächsten schwereren Nachbarisotop.

Ordinate: Bindungsenergie der zwei nächsten Neutronen in MeV. Die Kreuze gehören, zeilenweise von links nach rechts gelesen, zu den folgenden Kernen: Mo^{98}; Sn^{116}; Mo^{96}; Ag^{117}; Tl^{203}, Gd^{158}, Mo^{95}, Sn^{122}, Gd^{158}; Os^{190}, Ir^{191}, Pt^{194}, Nd^{148}; Mo^{94}; Nd^{148}, Pt^{196}.

[1]) C. F. v. WEIZSÄCKER, Physik. Z. 38, 633 (1938), dort auch Zitate früherer Arbeiten anderer Autoren.

[2]) Diese folgt auch unmittelbar thermodynamisch für ein Gleichgewicht der Form

$$X^A + X'^{A'+1} = X^{A+1} + X'^{A'},$$

ohne daß man den Austausch freier Neutronen als Vermittler des Gleichgewichts explizit fordern muß. Letzteres gibt nur eine physikalische Interpretation der Konstanten f.

[3]) In der Schreibweise der vorigen Fußnote hat v. WEIZSÄCKER nur den Fall $X = X'$, und zwar das Gleichgewicht

$$O^{16} + {}^{18} = 2\,O^{17}$$

betrachtet.

[4]) MATTAUCH-FLÜGGE, Tabellen und Phys. Z. 44, 181 (1943).

Mechanismus der Wirkung ionisierender Strahlen auf Lösungen.

Bei manchen durch Röntgenstrahlen hervorgerufenen chemischen Reaktionen in wässeriger Lösung wurde beobachtet, daß ihre absolute Ausbeute der Zahl der vorhandenen reaktionsfähigen Moleküle nicht proportional ist (FRICKE und Mitarbeiter, 1927—1938, STENSTRÖM und LOHMANN, 1928—1934, DALE, 1940—1943). Experimentell prägt sich das vor allem darin aus, daß der absolute Umsatz von der Konzentration der gelösten reaktionsfähigen Moleküle in weitem Bereich unabhängig ist. Dies wurde meist dahin gedeutet, daß Wassermoleküle, die bei der Bestrahlung nicht allzu konzentrierter wässeriger Lösungen primär den größten Teil der Strahlungsenergie aufnehmen, in einen „aktivierten" Zustand übergehen und ihre Energie vorzugsweise nur bei Stößen mit reaktionsfähigen Molekülen verlieren. Eine solche Deutung kann jedoch so lange nicht als endgültig angesehen werden, als man über die Natur des aktivierten Zustandes und über den Mechanismus der Energieübertragung keine Aussagen machen kann. Wir haben daher versucht, dieses bisher wenig bearbeitete Problem zu klären.

Als erste Reaktion wurde dazu die durch Röntgenstrahlung hervorgerufene Umwandlung des in Benzol gelösten sogenannten weißen Phosphors in die unlösliche (rote) Modifikation untersucht (ZIMMER, 1944). Im Gegensatz zu den Befunden an wässerigen

Lösungen ergaben unsere Versuche an benzolischen Lösungen keinerlei Hinweise dafür, daß die vom Lösungsmittel aufgenommene Energie an den reagierenden Stoff übertragen wird.

Bei der Untersuchung einer zweiten Reaktion, der durch Bestrahlung in wässeriger Lösung hervorgerufenen Veränderung von Tyrosin konnten wir bestätigen, daß der relative Umsatz je Dosiseinheit mit abnehmender Anfangskonzentration wächst, und darüber hinaus zeigen, daß bei gleichbleibender Anfangskonzentration der relative Umsatz durch gleiche Bestrahlungsdosen (gemessen in Ionenpaaren je ccm) bei Alphastrahlung geringer ist als bei Röntgenstrahlung (ZIMMER und BOUMAN, 1944). Aus dieser Abnahme des relativen Umsatzes mit steigender räumlicher Ionisationsdichte ließ sich berechnen, daß primär vom Wasser aufgenommene Energie über eine mittlere lineare Entfernung von 10^{-6} cm auf das reaktionsfähige Molekül übertragen wird. Dieser Wert steht in guter Übereinstimmung mit einer früheren Abschätzung FRICKEs auf Grund der Konzentrationsabhängigkeit.

Versuche mit einer dritten Reaktion, der durch Röntgenstrahlen hervorgerufenen Entfärbung von Methylenblau, in verschiedenen Lösungsmitteln, führten zu dem Ergebnis, daß der bisher nur in Wasser beobachtete Effekt der Übertragung der primär vom Lösungsmittel aufgenommenen Energie auf die gelösten reaktionsfähigen Moleküle auch in Glykol und Glyzerin auftritt. Dieser Befund spricht gegen die Hypothese, daß es sich bei der Energieübertragung um aktivierte Moleküle handelt; denn wenn die Annahme von aktivierten Wassermolekülen, die ohne Entaktivierung mittlere lineare Entfernungen von 10^{-6} cm überwinden können, zwar gewagt aber nicht unmöglich erscheint, so ist die Annahme von gleich stabilen aktivierten Glykol- und Glyzerinmolekülen recht unwahrscheinlich.

Es lag nun die Frage nahe, ob die Energieübertragung überhaupt durch diffundierende Teilchen oder aber durch einen Energieausbreitungsmechanismus erfolgt, wie er in lumineszierenden Stoffen, in gewissen Farbstoff-Molekül-Aggregaten und in Eiweißmolekülen eine Rolle spielt (RIEHL, ROMPE, TIMOFÉEFF-RESSOVSKY und ZIMMER, 1943). Zwischen diesen Möglichkeiten konnte durch Bestrahlung von Methylenblaulösungen in Glyzerin entschieden werden, die sich bis auf $-70°$ C unterkühlen lassen, ohne zu kristallisieren, so daß einerseits die molekulardisperse Verteilung des Methylenblaus erhalten bleibt und andererseits die Lösung zu einem sehr harten Glas erstarrt, in dem Diffusionsvorgänge ebenso verlangsamt sind wie in einem Kristall. Bei Bestrahlung solcher unterkühlter Glyzerinlösungen konnte im Gegensatz zur Bestrahlung bei Zimmertemperatur eine Entfärbung nicht erhalten werden. Dieselbe trat jedoch sofort ein, wenn die Lösung nach der Bestrahlung auf Zimmertemperatur erwärmt wurde, d. h. sobald Diffusionsvorgänge wieder Bedeutung gewannen. Dieser Befund schließt die Annahme aus, daß es sich bei den hier in Frage stehenden Energieübertragungsvorgängen um sogenannte elektronische Energiewanderung oder um Energiewanderung durch Dipolresonanz handelt, da diese Vorgänge in der Kälte besser vor sich gehen sollten als bei Zimmertemperatur. Es muß daher angenommen werden, daß die Übertragung der primär vom Lösungsmittel aufgenommenen Energie durch diffundierende Teilchen erfolgt und es ist wahrscheinlich, daß diese nicht aktivierte Lösungsmittelmoleküle darstellen, sondern Spaltstücke derselben. Über deren Natur liegen zunächst nur Hypothesen vor, so daß hierauf an dieser Stelle noch nicht eingegangen werden soll.

Berlin-Buch, Genetische Abteilung am Kaiser-Wilhelm-Institut, den 9. September 1944.

K. G. ZIMMER.

---

[1]) W. M. DALE, Brit. Journ. Radiol. 16, 171 (1943).
[2]) H. FRICKE, Cold Spring Harbor Symposia on Quantit. Biol. 3, 55 (1935); 6, 164 (1938).
[3]) N. RIEHL, R. ROMPE, N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. K. G. ZIMMER, Protoplasma 38, 106 (1943).
[4]) W. STENSTRÖM, Radiology 13, 437 (1929).
[5]) K. G. ZIMMER, Physik. Z. im Druck (1944).
[6]) K. G. ZIMMER u. J. BOUMAN, Physik. Z. im Druck (1944).

Endomitotische Polyploidisierung in Früchten.

Zur Untersuchung gelangten die Früchte von sieben Angiospermen (*Blumenbachia hieronymi*, *Lagenaria vulgaris*, *Cucurbita maxima*, *Solanum gilo*, *Ornithogalum nutans*, *Eremurus robustus*, *Polygonatum* sp.). Die herangewachsenen Fruchtknoten wurden durch Verwundung zu Mitosen angeregt und in ihnen wurden die Chromosomen ausgezählt. Es ergab sich, daß entsprechend der verschiedenen Kern- und Zellgröße im Fruchtwandgewebe verschiedene Chromosomenzahlen, und zwar 2 n, 4 n, 8 n und 16 n vorkommen; vermutlich sind auch Kerne mit 32 n vorhanden, die aber keine Mitosen mehr eingehen und daher nicht exakt prüfbar sind. Die Verteilung der schiedenen Polyploidiestufen ist im allgemeinen die, daß von außen nach innen ein Ansteigen erfolgt, also die Epidermis aus diploiden Zellen besteht, während die inneren, größtzelligen Gewebe 8- oder 16-ploid sind. Eine Ausnahme bildet die Frucht von *Polygonatum*, die überwiegend aus diploidem Gewebe besteht und nur vereinzelt tetraploide Zellen enthält, sowie die von *Allium Rosenbachianum*, bei der die äußere Epidermis vermutlich polyploid ist.

Die polyploiden Kerne entstehen auf dem Wege endomitotischer Polyploidisierung[1]). Die Entwicklung der Frucht geschieht in der Weise, daß auf eine Periode mitotischen Teilungswachstums, die bei verschiedenen Pflanzen und in verschiedenen Teilen der Furcht typisch verschieden lange anhalten kann, eine Periode des *Zellwachstums* unter *endomitotischer Polyploidisierung* folgt. — Ein eigentümliches Verhalten wurde ausnahmsweise bei *Blumenbachia hieronymi* beobachtet. Hier fanden sich zwei polyploide Mitosen mit den Chromosomenzahlen ± 150 und ± 168, die etwa in der Mitte liegen zwischen den zu erwartenden Zahlen $8\,n = 96$ und $16\,n = 192$; diesem Verhalten liegen vielleicht „unvollständige" Endomitosen im Sinne EMMY STEINs[2]) zugrunde.

Sachliche und methodische Einzelheiten sowie die Bildbelege finden sich in der ausführlichen Mitteilung[3]).

Wien, Botanisches Institut der Universität, den 19. September 1944.

L. GEITLER. HENRIETTE LAUBER.

---

[1]) L. GEITLER, Ergebnisse der Biologie 18 (1941).
[2]) E. STEIN, Chromosoma 2 (1942).
[3]) HENRIETTE LAUBER, Untersuchungen über das Wachstum der Früchte einiger Angiospermen unter endomitotischer Polyploidisierung (zur Zeit unveröff.).

Über die Ursachen der rechtwinkeligen Durchschneidung von Scheidewänden.

Bei den verschiedensten niederen und höheren Pflanzen und Tieren erfolgen zeitlebens oder in bestimmten Entwicklungsstadien sukzedane Teilungen, deren Ebenen nach zwei (oder drei) Raumrichtungen aufeinander senkrecht stehen. Die Ursachen hierfür stellen ein noch ungelöstes Problem dar. Unter der geläufigen, im allgemeinen zu Recht bestehenden Annahme, daß die Scheidewand senkrecht zur größten Längserstreckung der Mutterzelle (MZ) gebildet wird, ist es im Fall kugeliger (oder allgemein isodiametrischer) MZ zwar mechanisch verständlich, daß die Wände der zweiten Teilung (in den halbkugeligen Tochterzellen) senkrecht auf der ersten Wand stehen, es ist aber nicht verständlich, weshalb sie untereinander in derselben Ebene liegen und dadurch die so häufige in einer Ebene gekreuzte Lage (Quadrantenstellung) der vier Tochterzellen zustande bringen; denn in jeder Halbkugel gibt es beliebig viele radiäre Richtungen, die der Bedingung des Senkrechtstehens genügen; es könnten also die zweiten Wände auch zueinander geneigt liegen.

Als Beitrag zu einer Lösung des Problems wurden mit Hilfe genauer morphologischer Aufnahmen und statistischer Auswertung der Gestalt der MZ und Lage der Wände die Pollenmutterzellen (PMZ) bzw. -tetraden von 18 Angiospermen untersucht[1]). PMZ sind insofern ein geeignetes Untersuchungsmaterial, als zwischen den Teilungen kein Wachstum erfolgt und die Wandstellung einfach von der Kernspindelstellung abhängt (die Wand bildet sich senkrecht zur Spindellängsachse). Es handelte sich also darum, zu ermitteln, ob und wie die Spindelstellung von der Gestalt der MZ abhängt.

In den Fällen typischer Quadrantenstellung liegen die zweiten Wände in einer Ebene deshalb, weil die PMZ keine Kugeln, sondern etwas abgeflacht sind; die homöotypen Spindeln haben also nicht in allen Radiärrichtungen gleich viel Raum, sondern werden gezwungen, sich innerhalb der gleichen Ebene zu entwickeln. Sind die PMZ dagegen kugelig, so stehen die homöotypen Spindeln zwar parallel zur ersten Wand, aber zueinander geneigt; die vier Tochterzellen liegen dann nicht (genauer: selten) quadrantenförmig. Im Fall besonderer Formen der MZ (z. B. starke Längsstreckung) nehmen die homöotypen Spindeln entsprechende windschiefe Lagen ein und die zweiten Wände stehen nicht senkrecht auf der ersten Wand. Es zeigt sich also eine deutliche Abhängigkeit von der Gestalt der PMZ bzw. Tochterzellen. Dies gilt allerdings nur für Fälle, wo die Kerne und Spindeln im Vergleich mit den Zellen (Protoplasten) groß sind. Bei *Pistia stratiotes* dagegen sind die Spindeln relativ so klein, daß keine Beeinflussung der Stellung durch Raumverhältnisse eintreten kann; schon die heterotype Spindel ist hier nicht in der größten Längserstreckung der PMZ eingestellt, sondern, wohl infolge der Ausbildung einer quer ausgespannten Plasmabrücke, quer gelagert, so daß die erste Wand oft eine Fläche maximae statt minimae areae darstellt. Im übrigen ist allgemein kaum an eine grobmechansiche Wirkung zu denken; vielmehr wirkt die Zellgestalt wohl über den Weg einer bestimmten innerplasmatischen Architektonik. Bestimmte innerplasmatische Faktoren müssen auch für jene Fälle verantwortlich sein, wo andere als die erwarteten Verhältnisse herrschen; so können im Fall kugeliger PMZ mehr Quadrantenstellungen auftreten, als der Wahrscheinlichkeit entspricht.

Die vergleichsweise untersuchten Teilungen der Blaualge *Chroococcus turgidus*, die regelmäßig nach drei Raumrichtungen erfolgen, werden wohl ebenfalls durch Asymmetrien der relativen Mutterzellen gelenkt.

Wien, Botanisches Institut der Universität, den 22. September 1944.

L. Geitler. Elisabeth Vogl.

[1]) Elisabeth Vogl, Untersuchungen über die Teilungsrichtungen in Pollenmutterzellen (zur Zeit unveröff.). Hier das statistische und Abbildungsmaterial.

Zur Chemie des Buchenholzes.

Es gelang, aus Buchenholz bei Anwendung von elementarem Chlor und gepufferter Natriumchloritlösung[1]) unter bestimmten Reaktionsbedingungen[2]) Holocellulosen in einer Ausbeute zu gewinnen, die weit über dem zu erwartenden Kohlenhydratanteil lag, wie er sich aus der Ligninbestimmung am Ausgangsholz ergibt. Tabelle 1 gibt eine Zusammenstellung einiger solcher Holocellulosen mit wechselnden Ligningehalten sowie der zugehörigen Ausgangshölzer. Es geht daraus hervor, daß das Plus an hydrolysierbaren Substanzen im Durchschnitt bei 9,7% des Holzes liegt.

Diese Ergebnisse mußten für uns um so überraschender sein, als in früheren Arbeiten[4]) [5]) von uns gerade der Befund, daß die Ausbeute an Holocellulose sich mit dem Ligningehalt des Ausgangsholzes zu 100% ergänzt, als wesentlicher Beweis für die Realität der bei der Ligninbestimmung erhaltenen Werte herangezogen worden war.

In neuerer Zeit haben Jayme und Mitarbeiter[6]) [7]), diesen Gedankengängen folgend, in einigen Fällen ein Plus an Kohlenhydraten festgestellt und dafür die Bezeichnung „Überschußkohlenhydrate" geprägt. Indessen gelang es ihnen nicht, bei der Verzuckerung der aus Fichtenholz hergestellten Präparate eine entsprechend größere Menge an reduzierender Substanz zu finden, als unter den gleichen Bedingungen bei den Ausgangsholzproben gefunden wurde. Es wies vielmehr die Ausbeute an reduzierender Substanz gegenüber dem Holz ein Defizit auf, das zwischen 2,1 und 7,2% lag.

Aus Tabelle 12, S. 112, der Arbeit Jayme und Finck[7]) lassen sich z. B. folgende Zahlen entnehmen. Ausbeute der Holocellulose bezogen auf Holz = 86,23%, mit einem Ligningehalt auf Holz bezogen von 9,02%. Dem entspricht ein Kohlenhydratanteil von 77,2%. Der Kohlenhydratanteil des Ausgangsholzes (100 — Lignin) berechnet sich zu 71,9%, so daß in diesem Fall 5,3% „Überschußkohlenhydrate" gefunden wurden. — Die Zuckerbestimmung nach Luff-Schoorl ergab für das Hydrolysat des Ausgangsholzes 69,52%, das sind 96,7% des theoretischen Kohlenhydratanteils. Das Hydrolysat der Holocellulose lieferte bei der Zuckerbestimmung nur 75,18%, auf Holz gerechnet 64,82%. Dem aus den Ligninwerten errechneten Überschuß von 5,3% Kohlenhydraten steht danach bei der Verzuckerung ein Defizit von 4,7% gegenüber.

Das Defizit erklären die Autoren mit einer oxydativen Veränderung eines Teils der Polysaccharidsubstanz, während sie für die Mehrausbeute annehmen, daß diese durch mangelnde Kondensationsfähigkeit des oxydierten Lignins, das vielleicht auch noch Wasser aufgenommen hat, vorgetäuscht wird. — Darüber hinaus konnten die Autoren in der Chlorit-

Tabelle 1.

Material	Buche A	Holocellulose A	Buche B	Holocellulose B	Buche C	Holocellulose C	Holocellulose C'
	Prozente						
a) Ausbeute	—	93,5	—	89,7	—	92,0	87,8
b) Ligningehalt[3])	23,7	7,2	22,3	2,7	21,6	3,1	1,5
c) Lignin bezogen auf Holz	23,7	6,7	22,3	2,4	21,6	2,9	1,3
d) Kohlenhydrat der Holocellulose	—	92,8	—	97,3	—	96,9	98,5
e) Kohlenhydrat bezogen auf Holz	76,3	86,8	77,7	87,3	78,4	89,1	86,5
f) Mehrausbeute	—	10,5	—	9,6	—	10,7	8,1

Tabelle 2.

	Buche A	Buche B	Buche C	Buche C'
Ausgangsholz:				
a) 100 — Lignin	76,3	77,7	78,4	—
b) Prozent reduzierende Substanz	67,5	67,6	68,3	—
c) Ausbeute der Verzuckerung bezogen auf 100 — Lignin	88,5	87,0	87,2	—
Holocellulose:				
d) Ausbeute in Prozent des Holzes	93,5	89,7	92,0	87,8
e) Ligningehalt	7,2	2,7	3,1	1,5
f) Kohlenhydrate in Prozent des Holzes	86,8	87,3	89,1	86,5
g) Prozent reduzierende Substanz bezogen auf Holocellulose	79,5	84,0	82,4	85,0
h) Prozent reduzierende Substanz bezogen auf Holz	74,4	75,4	75,7	74,6
i) Prozent reduzierende Substanz bezogen auf Holocellulose bei Berücksichtigung der Verzuckerungsausbeute am Ausgangsholz	89,8	96,6	94,5	97,5
k) ergänzt sich mit Lignin der Holocellulose zu Prozenten	97,0	99,3	97,6	99,0
l) Durch Verzuckerung nachgewiesene Mehrausbeute, Prozent des Holzes (i·d — a)	7,7	9,0	8,6	7,2

Aufschlußlösung, die eine Holocellulose in *theoretischer Ausbeute* gegeben hatte, Glukose in einer Menge von etwa 3,7% des Holzes nachweisen.

Die Totalhydrolyse[8]) unserer aus Buchenholz gewonnenen Holocellulosen sowie der zugehörigen Ausgangshölzer führte zu etwas anderen Ergebnissen. Es zeigte sich nämlich, daß die Menge an reduzierender Substanz im Hydrolysat der Holocellulosen gegenüber den Ausgangshölzern nicht nur kein Defizit aufwies, sondern vielmehr mit der über den theoretischen Betrag hinausgehenden Holocelluloseausbeute parallel ging. Sie blieb im Durchschnitt nur um 1,57% hinter der nach Tabelle 1 berechneten Mehrausbeute zurück.

Damit ist unseres Wissens erstmalig der Nachweis geführt, daß durch geeignete Reaktionsbedingungen ein erheblicher Teil des Buchenlignins in eine Form übergeführt werden kann, in der es sich zu reduzierenden Körpern hydrolysieren läßt, ohne bei der Verzuckerung eine „Humifizierung" oder sonstige sekundäre Kondensation zu erleiden. Wir halten es in diesem Stadium der Untersuchung für untunlich, bereits irgendwelche Hypothesen, die sich auf den Bau des Lignins beziehen, aufzustellen und möchten auch vor einer näheren Charakterisierung der reduzierenden Substanzen Bezeichnungen wie „Überschußkohlenhydrate" vermeiden.

Jedenfalls aber wird durch diese Befunde, die sich allerdings vorerst nur auf Buchenholz beziehen, die scharfe Grenze zwischen der Ligninkomponente einerseits und dem Polysaccharidanteil andererseits, die von den meisten Forschern auch heute noch im Gegensatz zu HILPERT[9]) und anderen angenommen wird, stark verwischt, da der Begriff des theoretischen Kohlenhydratanteils, der sich aus der Differenz 100 — Lignin ergibt, seinen Sinn verloren hat.

Peschelmühle, Celluloseforschungszentrale des Zellwolle- und Kunstseideringes, den 25. Oktober 1944.

OLAV MÜLLER.

---

[1]) A. W. SOHN u. F. REIF, Papierfabr. 40, 1 (1942).

[2]) Eine ausführliche Mitteilung ist an anderer Stelle vorgesehen.

[3]) Der Ligningehalt wurde mit 64%iger H_2SO_4 bestimmt; s. K. STORCH u. O. MÜLLER, Cellulosechem. 19, 28 (1941).

[4]) O. MÜLLER u. M. BARTHOLOME, Papierfabr. 37, 103 (1939).

[5]) K. STORCH u. O. MÜLLER, Papierfabr. 37, 213 (1939).

[6]) G. JAYME u. G. HANKE, Cellulosechem. 21, 127 (1943).

[7]) G. JAYME u. F. FINCK, Cellulosechem. 22, 102 (1944).

[8]) Die Totalhydrolyse wurde in der von JAYME u. FINCK (l. c.) beschriebenen Weise durchgeführt, die Menge der reduzierenden Substanz nach BERTRAND bestimmt und auf Glukose berechnet.

[9]) R. S. HILPERT u. H. HELLWAGE, Ber. dtsch. chem. Ges. 68, 380 (1935).

Das Inhaltsverzeichnis mit dem Sach- und Autorenregister des 32. Jahrganges (1944) wird einem der ersten Hefte des nächsten Jahrganges beigefügt werden. ***Schriftleitung und Verlag.***

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur Fritz Süffert, Berlin W 9. — Springer-Verlag in Berlin W 9.
Druck: Manzsche Buchdruckerei, Wien IX.

Dein Kind ist Dein Glück

und die Zukunft Deines Volkes! Kräftige seine Gesundheit – wir brauchen lebensstarke, frohe Menschen. Pflege und erhalte ihm vor allem die gesunde Haut. Dafür ist auch FISSAN-Paste mit colloidem, organverwandtem Milcheiweiß besonders dem Kind vorbehalten.

FISSAN

FISSAN ist sparsam im Gebrauch – sei Du auch sparsam mit FISSAN!

1899 baute Carl Bamberg, der Begründer der Askania-Werke, diesen 12-Zoll-Refraktor für die Urania-Sternwarte Berlin. Er war das erste in Deutschland gebaute astronomische Instrument dieser Größe.

Immer wenn es galt:

neue wissenschaftliche Ziele zu erreichen, war der Bau dafür geeigneter Instrumente unsere vornehmste Aufgabe. Auch künftig helfen wir gern mit Rat und Tat.

ASKANIA-WERKE
3115

bei größeren Stückzahlen, in sauberer und genauer Ausführung
Skizze oder Zeichnung bitte mit einsenden

SEIT 1865
D&P
DENNERT & PAPE
Mathem. u. geodät. Instrumente
HAMBURG

OSRAM
macht vieles leichter:

– auch das Wirtschaften.

Denn OSRAM-Lampen setzen den meist mit Kohle erzeugten Strom wirksam in Licht um. Ihre praktische Licht-Wirtschaftlichkeit wird erhöht, wenn Sie Leuchten und Lampen möglichst zweimal im Vierteljahr vom lichtschluckenden Staub säubern.

OSRAM:
viel Licht für wenig Strom!

01

H. LENNARTZ BOUCKE
LTP

LTP-Meßgeräte

Tiefton-RC-Generator RC 4
4 Hz bis 300 Hz in 3 Bereichen
Leistung 1,5 W 60/600 Ohm
Konstanz 0,2 bis 0,3%

Tonfrequenz-Schwebungssummer SR 100
30 Hz bis 1,5 kHz
30 Hz bis 20 kHz
Leistung 1,5 W 150/600 Ohm
Klirrfaktor 1% bei 1 W
Eingebautes Röhrenvoltmeter

Trägerfrequenz-Schwebungssumm. SR 200
30 Hz bis 15 kHz
10 kHz bis 200 kHz
Ausgänge: 150 Ohm (5 V), 600 Ohm (10 V)
Klirrfaktor 1,5%
Eingebautes Röhrenvoltmeter

Oberwellen-Meßgerät FS 2
Frequenzen: 10, 20, 40, 160 kHz
Messung: 1. und 2. Oberwelle getrennt
Meßbereiche: 0,1 bis 2,5%
0,1 bis 10%
Eingangswiderstand zirka 5 kO

LTP
Labor für technische Physik
Büro: Berlin SO 16

CHININFABRIK
BRAUNSCHWEIG
Bücklee & Co.
Anorganische Abteilung

Radium jeder Lieferform
Radium-Emanation
Radium D
Polonium
*
Neutronenquellen
*
Instrumente für die Radiumtherapie
*
Uranverbindungen
*
Zink- und Erdalkalisulfid-Luminophore

Gallenleiden
SEPDELEN 7
Hepatitis
Cholelithiasis
Cholecystitis
Cholecystopathien

SEPDELEN-WERKE
GMBH
Wissenschaftliche Abteilung
Hamburg 1 · Spitalerstr 11 /211

DESITIN

DIE EXTERNE LEBERTRANTHERAPIE

DESITIN-WERK CARL KLINKE, FABRIK PHARMAZEUTISCHER PRÄPARATE.

Seit Jahren auf die Bedürfnisse des Ingenieurs und Forschers eingestellt, kann mein phototechnisches Labor auch Ihnen helfen. Von der einfachen Photokopie, den Archivaufnahmen auf Kinofilm zur Sicherung wertvollen Schriftgutes bis zu den schwierigsten phototechnischen Arbeiten, immer hilft zuverlässig

das Photolabor ZIEROW

Inhaber Ing. **P. Zierow**

Anfragen erbeten an Springer-Verlag, Berlin W 9

Wir bauen

HOCHSPANNUNGS-GERÄTE kleinster Ausmaße

für jeden Verwendungszweck.

Lieferbar:
5–500 kV Gleichstrom prim. Netz oder Akku

ENTWICKLUNGS- UND KONSTRUKTIONSBÜRO

ING. M. TOKUMBET VDI

Büro Berlin-Charlottenburg 2, Berliner Straße 40
Abt. I: **Hochspannungstechnik**
Abt. II: **Hochfrequenztechnik**

Wir kaufen und bitten um Angebot:

Brockhaus, Lexikon, 15. Aufl. 20 u. 21 Bde. / **Brehms Tierleben**, 10 u. 13 Bde. / **Handb. d. Literatur — Kunst — geogr. Wissenschaften** / **Hegi, Flora von Mittel-Europa** / **Heinroth, Vögel** / **Muret-Sanders**, Englisch. Wörterbuch, 4 Bde. / **Sachs-Vilatte**, Französisches Wörterbuch, 4 Bde., und andere Bücher von Wert.

Werner, Freundt & Co., Buchhandlung, Leipzig C 1, Bez. 24

Wir fertigen seit Jahren in höchster Vollendung

GLASSPIEGEL
GLASTEILUNGEN – GITTER
MIKROSKOPISCHE PRÄPARATE

J. D. **Möller**, Optische Werke, G. m. b. H.
Hamburg 20, Postfach 2926

FACHLEUTE die besonderen Wert auf einwandfrei arbeitende Geräte legen, verwenden zum Ausgleich von Netzschwankungen und

Spannungsänderungen durch Belastungsschwankungen bei empfindlichen Verbrauchern → STABILISATOREN

STABILOVOLT GMBH

Schmidt & Haensch

Anfragen erbeten an Springer-Verlag, Berlin W 9

Polarisationsapparate

Spektralapparate

Photometer

Berlin Schmidt & Haensch

WISSENSCHAFT

und

Praxis

In enger Zusammenarbeit mit führenden Wissenschaftlern stellen wir als älteste Spezialfabrik dieses Gebietes seit fast 60 Jahren ausschließlich Desinfektionsmittel her. Auf jedem Anwendungsgebiet in der Krankenpflege und in der Therapie geben unsere verschiedenartigen Spezialpräparate dem Arzt und dem Kranken jene Sicherheit zuverlässiger Wirkung, die z. B. unserm ersten Erzeugnis „Lysol" Weltruf erworben hat.

SCHÜLKE & MAYR
Aktien-Gesellschaft

Älteste Spezialfabrik für Desinfektionsmittel
Herstellerin von „Lysol", „Sagrotan", „Quartamon", „Kodantinktur"

Hochwertige
„L & B"
Erzeugnisse:

Oberflächenspiegel
für Projektions-, photographische und sonstige Apparate in Silber, Kupfer und Blei, mit und ohne Schutzschicht, auch
durchsichtige Verspiegelungen
jeder Durchlässigkeit
Hohlspiegel, hochhitzebeständig
Rückseitig versilberte Spiegel, Mikroskopspiegel, Sextantspiegel usw., versilbert, stark verkupfert und mit Spezialschutzlacken gespritzt, z. B. für Scheinwerfer
Silber-Verspiegelungen in Lohn
eingesandter Gläser u. Kunststoffe, für technische, optische, photographische und sonstige Zwecke
Planparallelplatten
Diapositiv-Deckgläser, Objektträger,
dünn, in sauberster Verarbeitung
Dünne Spezialgläser und Mattscheiben
für photographische und sonstige Zwecke, z. B. auch für Krankenhaus- und Lazarettbedarf.

LEHMANN & BALZER
Spezialfabrik für Flach- und Hohlglas-Veredlung
Optische Anstalt

Anfragen erbeten an Springer-Verlag, Berlin W 9.

AEG
Technisch-physikalische Sondergeräte

Streifen- und Ringgeber
für statische und dynamische Dehnungs- und Schwingungsmessungen: mit dem Streifengeber von 0,1 bis 2‰ Dehnung, mit Ringgebern von 10^{-5} cm bis 1 cm Längenänderung. Meßbrücken mit empfindlichem Anzeigeinstrument und Anschlußmöglichkeit an Elektronenstrahl-Oszillographen

7768
ALLGEMEINE ELEKTRICITÄTS-GESELLSCHAFT

Für den Textteil verantwortlich: Fritz Süffert in Berlin W 9, für den Anzeigenteil: Albert Meyer in Berlin-Steglitz, Kühlebornweg 5. Pl. 4. — Druck der Manzschen Buchdruckerei, Wien IX. — Springer-Verlag in Berlin W 9. — Printed in Germany